Ergebnisse nach Nervennaht an der oberen Extremität an Hand von Nachuntersuchungen des Krankengutes der CHIRURGISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN 1964 – 1970

Dieter Hamperl
Zummern/CSSR

München
1972

AUS DER CHIRURGISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Professor Dr. Dr. R. Zenker

ERGEBNISSE NACH NERVENNAHT AN DER OBEREN EXTREMITÄT AN HAND VON NACHUNTERSUCHUNGEN DES KRANKENGUTES DER CHIRURGISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN 1964 - 1970

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dieter H a m p e r l
aus Zummern/CSSR

München 1972

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der

Universität München

Berichterstatter:	Prof.Dr.F.Rueff
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.Dr.R.Zenker
Dekan:	Prof.Dr.W.Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.10.1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
ANATOMIE DER ARM- UND FINGERNERVEN	
nervus medianus	1
nervus ulnaris	3
Anastomosenbildung zw. n. med. und n. uln.	5
nervus radialis	7
HISTOLOGIE DES PERIPHEREN NERVEN	
1) Nervenfaser	9
2) Bindegewebige Umhüllung	11
3) Blutgefäßsystem	13
PATHOLOGIE DES PERIPHEREN NERVEN	
Degeneration	15
I. Sekundäre oder WALLERsche Degeneration	15
II. Retrograde Degeneration	19
Regeneration	20
DIE KLASSISCHE NERVENNAHT	
Operationstechnik	28
VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER KLASSISCHEN,EPINEURALEN NAHTTECHNIK	
1) Mikrochirurgie	30
2) "Intraneurale Topographie"	30
3) Weitreichende Resektion	32
HEMMUNG DER BINDEGEWEBSPROLIFERATION	32
1) Gewebeschonendes Operieren	33
2) "Nervennaht" mit Klebstoff	33
3) Umscheidung,z.B. Millipore	35
Kollagen,Silastic	36
Plasmanaht	36
Lyophilisierte Dura	37
4) Zytostatika (Colchicin)	38
5) Perineurale Nahttechnik	38
6) Tubulisation	39

7) Spannungsfreie Naht 40
a) Entspannungsstellung der Gelenke 40
b) Mobilisierung 40
c) Transposition 40

NERVENTRANSPLANTATION

I. Eigentransplantate 42
II. Fremdtransplantate 44

UNTERSUCHUNGSTESTS

1) Tests zur Untersuchung der Sensibilität 47
a) Ninhydrin-Test 47
b) Zwei-Punkte-Unterscheidungstest nach WEBER 51
c) Auflesetest nach MOBERG 52
d) Funktioneller Münztest nach ZRUBECKY 53
2) Tests zur Untersuchung der Motorik 53
a) Elektrophysiologische Methoden 53
b) Funktionsprüfung der Muskeltätigkeit mit Hilfe von Grifformen 55

SYMPTOME NACH DURCHTRENNUNG PERIPHERER NERVEN

a) Sensibilität 57
b) Trophik 58
c) Motorik 60

METHODIK DER NACHUNTERSUCHUNG 63

Beurteilungsschema der Resensibilisierung 64
Beurteilungsschema der Remotorisierung 65

NACHUNTERSUCHUNG

Krankengut 66
Verletzung 67
Art des Unfalls 67
Verletzungsursache 67
Nebenverletzungen 68
Nervennaht 69
Primär-,Sekundärnaht,Lokalisation

ERGEBNISSE DER NACHUNTERSUCHUNG

1) Einstufung durch den Patienten selbst 70
2) Beurteilung der Arbeitsfähigkeit 71
   a) Wechsel der Führungshand 71
   b) Berufswechsel 71
   c) Grad der Berufsausübung 71
3) Ergebnisse der Wiederherstellung der taktilen Gnose 72
   a) Nachbehandlung 72
   b) Zeitintervall zwischen Nervennaht und Regeneration 72
   c) Ergebnisse der Resensibilisierung 72
4) Ergebnisse der motorischen Wiederherstellung 74
5) Trophische Störungen,Neuromschmerz,Kälteempfindlichkeit,Krämpfe,Ödeme 76
6) Gefühlsdissoziationen 76

DIFFERENZIERUNG DER ERGEBNISSE

I. Fingernerven 77
II. Nervennahtergebnisse im Kindesalter 79
III. Kombinierte Nervenverletzungen 80

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

I. Diskussion der Ergebnisse der Gesamtstatistik 82
II. Diskussion der Nahtergebnisse bei Fingernerven 85
III. Diskussion der Nahtergebnisse bei Kindern 88

DIE NERVENNAHT BEEINFLUSSENDE FAKTOREN

1) Alter 91
2) Zeitintervall zwischen Verletzung und Nervennaht 94
3) Höhe der Verletzung 94
4) Nachbehandlung 95

ZUSAMMENFASSUNG 96

LITERATURVERZEICHNIS 99

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546011_0079

Anatomie

der Arm- und Fingernerven

Die Armnerven beziehen ihre Fasern aus dem plexus brachialis, der von den rami ventrales des 5. - 8. Hals- sowie des 1. Brustwirbels gebildet wird. In der Achselhöhle schließen sich diese zu den drei Trunci zusammen (truncus superior, tr. medianus, tr. inferior), die in die drei Fasciculi übergehen (fasciculus posterior, f. lateralis, f. medialis). Aus diesen gehen die für die Innervation des Unterarmes und der Hand wichtigen Nerven hervor: aus dem fasciculus posterior der nervus radialis, aus dem fasciculus lateralis und medialis der nervus medianus und aus dem fasciculus medialis der nervus ulnaris.
Alle diese Nerven sind gemischte Nerven, sie enthalten motorische, sensible und sympathische Nervenfasern. Der wichtigste Nerv für die sensible Versorgung der Hand ist der nervus medianus; er enthält ungefähr zu 90 % sensible Fasern, während der sensible Anteil des n. ulnaris nur 40 % beträgt.

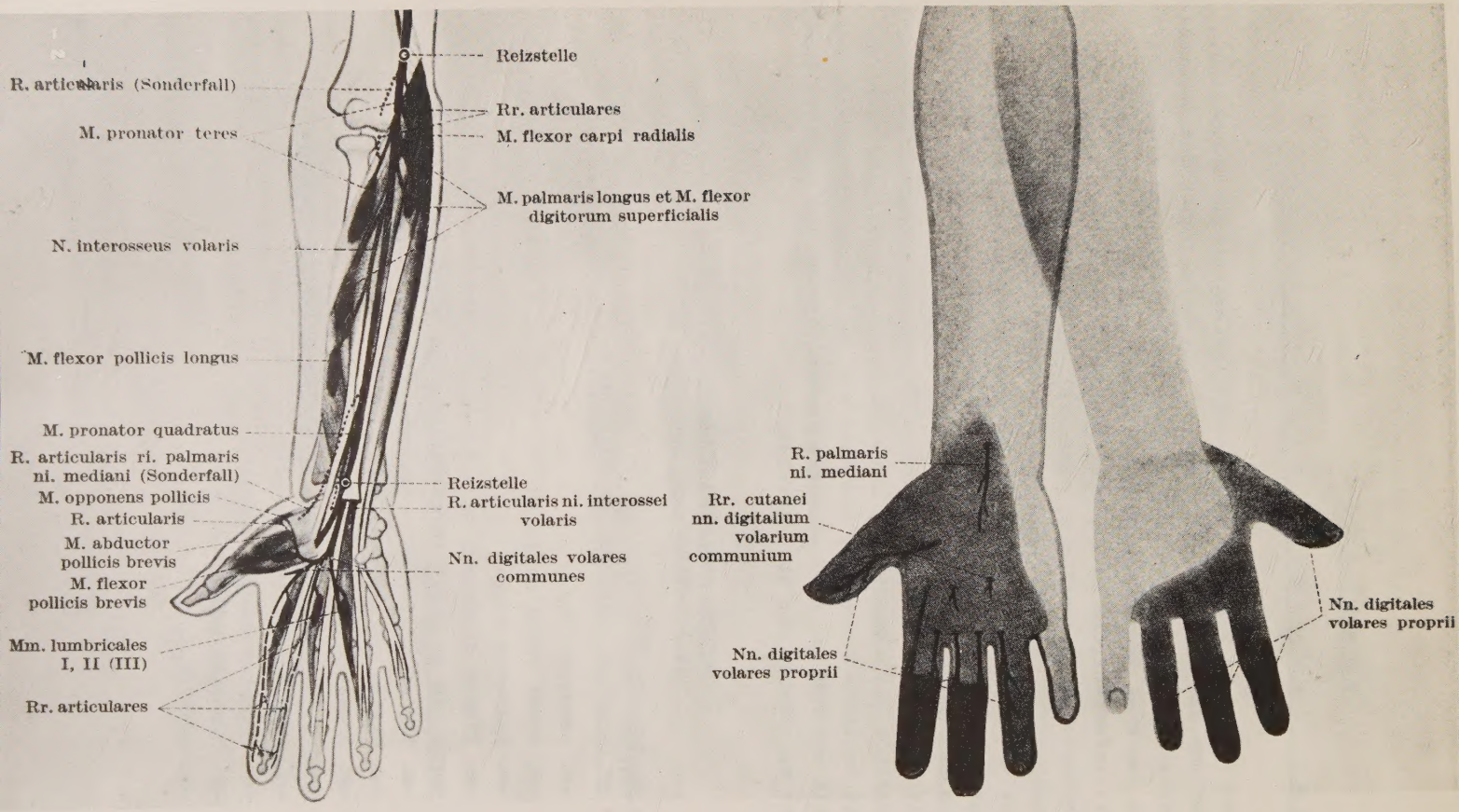
nervus medianus (C6, C7, C8, Th 1)

(vergleiche dazu Abbildung 1)

I. motorische Innervation:

- am Unterarm durch Rr. musculares:
  - -m. pronator teres
  - -m. fexor carpi radialis
  - -m. palmaris longus
  - -m. flexor digitorum superficialis D 3-5

  durch den n. interosseus antebrachii anterior:
  - -m. flexor digitorum profundus, rad. Hälfte für D2 und D3;
  - -m. flexor pollicis longus
  - -m. pronator quadratus
- an der Hand durch den n. digitalis palmaris communis I:
  - -m. abductor pollicis brevis
  - -m. flexor pollicis brevis
  - -m. opponens pollicis
  - -m. lumbricalis I



a) Muskel- und Gelenkversorgung. **b) Hautversorgung.**

Abb. 1. Nervus medianus (nach LANZ-WACHSMUTH).

durch den n. digitalis palmaris communis II:

-m. lumbricalis II

-m. lumbricalis III

II. Sensible Versorgung:

Durch den n. medianus (ramus palmaris) werden die radiale Hälfte des Handgelenks und der Handfläche, sowie die Daumenballen sensibel versorgt; außerdem (nn. digitales palmares proprii) die Volarflächen von D1, D2, D3 und die radiale, palmare Hälfte von D4, und die Dorsalfläche an den Mittel- und Endphalangen D2, D3 und D4 (rad. Hälfte).

Das Autonomgebiet des n. medianus beschränkt sich auf die Mittel- und Endphalangen D2 und D3 der Palmar- und Dorsalfläche. An diesen Stellen ist bei Läsion des n. medianus die Sensibilität total aufgehoben.

Rami articulares des n. medianus versorgen das Ellenbogengelenk, die Handwurzelgelenke und die Fingergelenke der radialen Hälfte mit sensiblen Fasern.

Besonders gefährdet ist der n. medianus proximal der Ellenbeuge (suprakondyläre Extensionsfraktur des Humerus) und im Handgelenksbereich (Suicid).

nervus ulnaris (C6, C7, C8, Th 1)

(vergleiche dazu Abbildung 2)

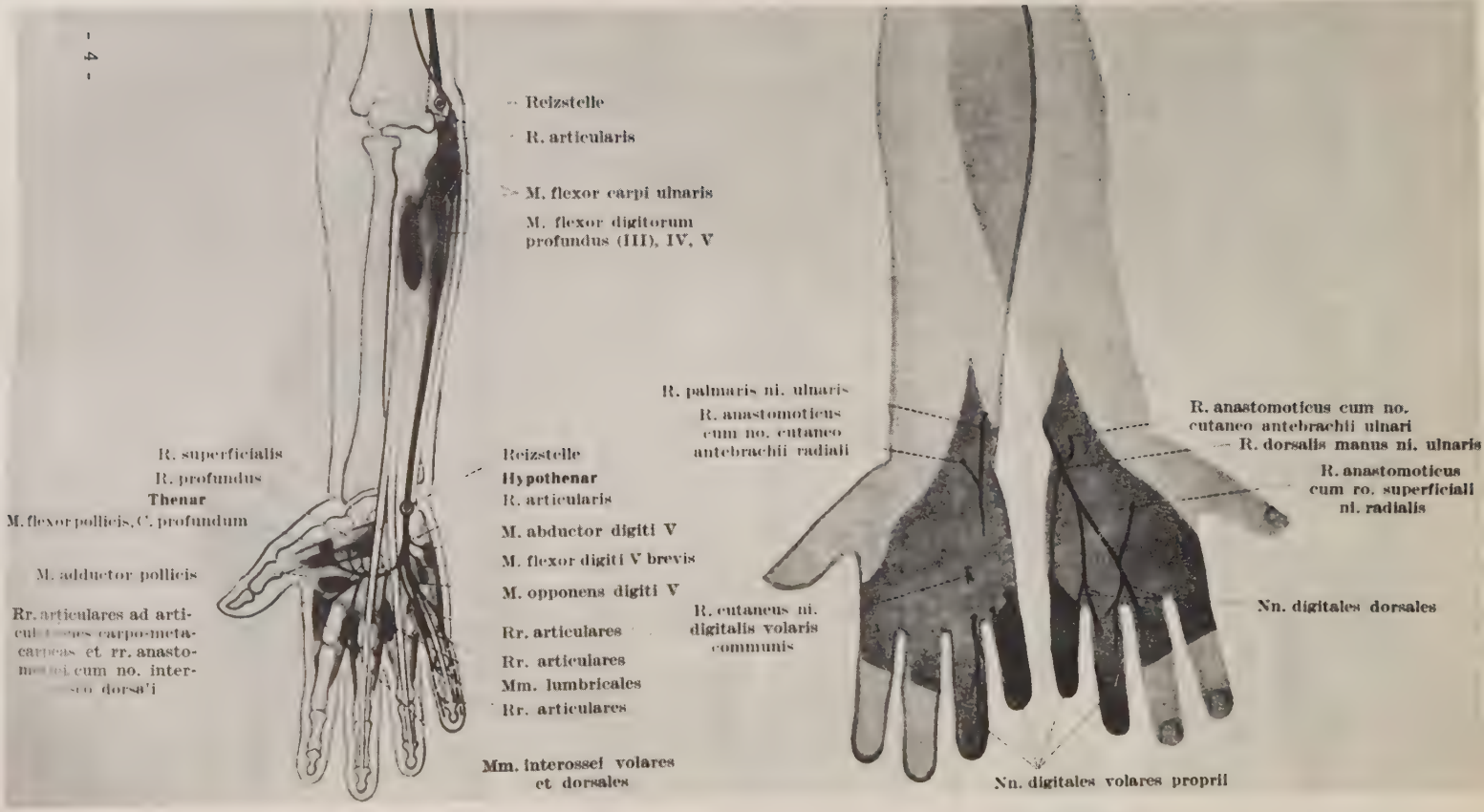
I. Motorische Innervation:

- am Unterarm durch Rr. musculares:
  - -m. flexor carpi ulnaris
  - -m. flexor digitorum profundus, uln. Hälfte für D4 und D5;
- an der Hand durch den ramus superficialis:
  - -m. palmaris brevis

  durch den ramus profundus:

  a) am Hypothenar:
     - -m. abductor digiti minimi
     - -m. flexor D5 brevis
     - -m. opponens D5

  b) im Mittelhandbereich:
     - -mm. lumbricales III und IV
     - -mm. interossei palmares et dorsales



a) Muskel- und Gelenkversorgung. **b) Hautversorgung.**

Abb. 2. Nervus ulnaris (nach LANZ-WACHSMUTH).

c) am Thenar:

-m. adductor pollicis

-m. flexor pollicis brevis (caput profundum)

II. Sensible Versorgung:

Am Handrücken versorgt der n. ulnaris durch den ramus dorsalis manus die ulnare Hälfte und durch 5 Fingernerven die Dorsalseite der Grundphalangen D5,D4 und D3 (ulnare Hälfte).
An der Palmarfläche versorgt der ramus superficialis die Haut der gesamten ulnaren Hälfte der Handfläche,die Handkante und die Haut am ulnaren Handgelenk,außerdem durch drei Fingernerven die gesamte Palmarfläche von D5 und die ulnare Hälfte von D4.Diese 3 Nn. digitales palmares proprii greifen auf die Dorsalseite über und versorgen dort die Mittel- und Endphalangen D5 und D4 (uln. Hälfte).

Die autonome Zone des n. ulnaris erstreckt sich auf den ganzen Kleinen Finger,palmar und dorsal.
Der n. ulnaris gibt außerdem Rr. articulares zum Ellenbogengelenk und zu den Handwurzelgelenken ab;die Gelenke an D5 versorgt er vollständig.
Der n. ulnaris ist im sulcus nervi ulnaris und im Bereich der Hand besonders gefährdet.

Anastomosenbildungen zwischen n. uln. und n. med.

I. motorisch:
Es ist nachgewiesen,daß sowohl der m. flexor digitorum profundus (für D2 und D3) wie auch die Daumenballenmuskulatur über den n. uln. motorisch versorgt werden kann.Durch einen Fasernaustausch am Unterarm vom n. uln. zum n. med. ist es möglich,daß einmal der m. flexor digitorum profundus (für D3,D4,D5),der m. flexor carpi ulnaris,der m. abductor pollicis brevis,die Mm. interossei, die Hypothenarmuskulatur oder die Mm. lumbricales III und IV vom n. medianus innerviert werden.

II. sensibel:
Durch die regelmäßigen sensiblen Anastomosen in der Hohlhand zwischen dem ramus superficialis n. uln. und dem n. med. (nervus digitalis palmaris communis III) kann es zu sehr mannigfaltigen sensiblen Innervationsmustern kommen.

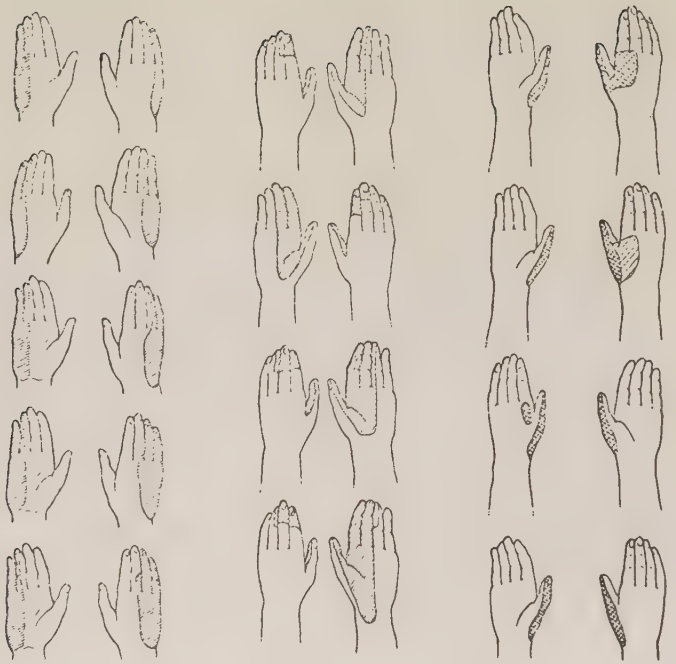


Abb.3. Verschiedene Typen der Sensibilitätsstörung bei Ulnarisparese (links),Medianusparese (Mitte) und Radialisparese (rechts) (KRAMER).

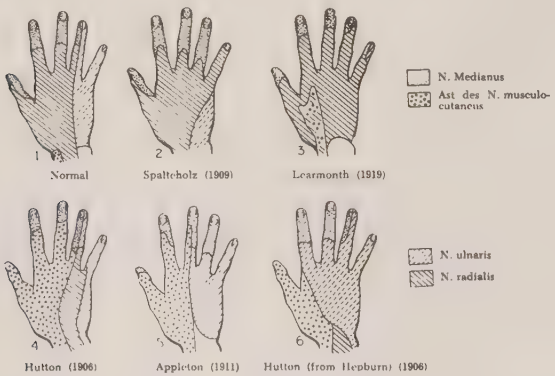


Abb. 4. Mögliche Variationen der sensiblen Versorgung am Handrücken und an der Streckseite der Finger (HAYMAKER,aus ZUBECKY:Die Hand,das Tastoran des Menschen.).

nervus radialis (C5,C6,C7,C8,Th 1)

(vergleiche dazu Abbildung 5)

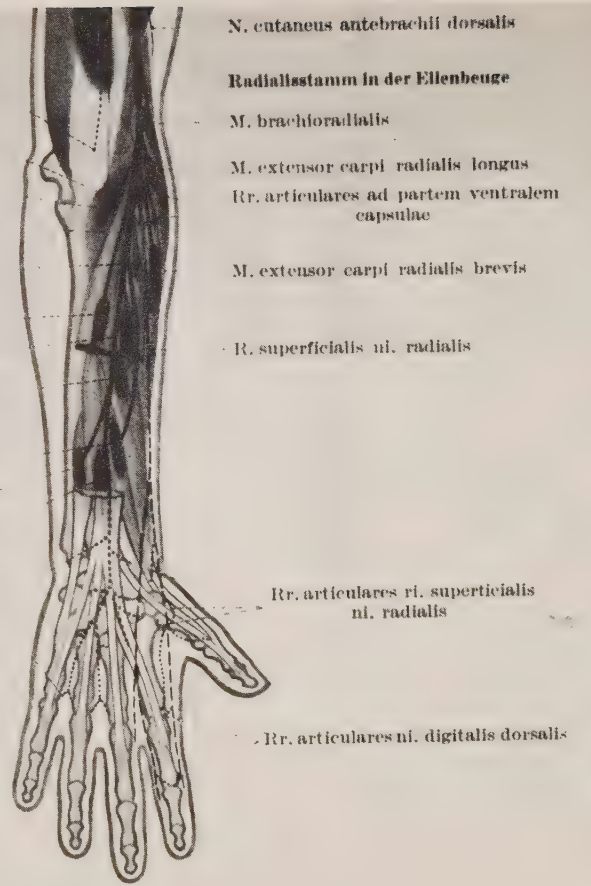
I. Motorische Innervation:

- am Oberarm durch Rr. musculares:
  - -m. triceps brachii
  - -m. anconaeus
  - -m. brachialis
- in der Ellenbeuge durch Rr. musculares:
  - -m. brachioradialis
  - -m. extensor carpi radialis longus et brevis
- am Unterarm durch den r. profundus:
  - -m. supinator
  - -m. extensor digitorum communis
  - -m. extensor digiti minimi
  - -m. extensor carpi ulnaris
  - -m. extensor pollicis longus
  - -m. extensor pollicis brevis
  - -m. abductor pollicis longus
  - -m. extensor indicis proprius

II. Sensible Versorgung:

Der n. cutaneus antebrachii posterior versorgt die Haut der Streck seite bis zum Handgelenk.Bei tieferer Radialisdurchtrennung kommt es zur Parese des ramus superficialis;dieser innerviert sensibel die dorsale Radialseite des Handgelenks und des Handrückens,mit seinen 5 Fingernerven die Streckseite des Daumens (Grund- und Endglied) und die Haut über dem Grundglied D2 und die radiale Hälfte des Grundgliedes D3.

Die Autonomgebiete des n. radialis am Oberarm und Unterarm sind häufig sehr schmal und können ganz fehlen.
Der n. rad. ist besonders bei Frakturen des Humerus gefährdet wegen seines langen Verlaufes an diesem Knochen.



Muskel- und Gelenkversorgung.

Hautversorgung.

Abb. 5. Nervus radialis (nach LANZ-WACHSMUTH).

Histologie

des peripheren Nerven

Der periphere Abschnitt der Nervenzelle erstreckt sich vom distalen Rand des Spinalganglions bis zum Endorgan.Als gemischter Nerv enthält er motorische,sensible und vegetative Nervenfasern. Der periphere Nerv besteht aus Nervenfasern,kollagenem Bindegewebe mit elastischen Fasern und einem Gefäßsystem.

1. Nervenfaser

Die markreiche Nervenfaser,das Organ der Erregungsleitung im peripheren Abschnitt der Spinalnerven,wird von folgenden Bauelementen (=Funktionselementen) gebildet:Achsenzylinder,Markscheide,SCHWANNsche Scheiden.

a) Axon oder Achsenzylinder:

Im Innern der Nervenfaser verläuft der elongierte Plasmafortsatz (Neurit) des im Spinalganglion liegenden Zellkörpers der Nervenzelle.Das Axoplasma,ein Gel geringer Dichte,besteht in einem hohen Prozentsatz aus Wasser,daneben aus Proteinen und Lipoiden, freien Aminosäuren und Elektrolyten.Im histologischen Bild finden sich Mitochondrien und vesikuläre Strukturen,aber keine Ribosomen.

Die im Innern der Axone lichtmikroskopisch gefundenen Neurofibrillen erwiesen sich unter dem Elektronenmikroskop als in Längsrichtung liegende,fadenförmige Teilchen (Axonfilamente). Heute neigt man dazu,in diesen feinen Strukturen Tubuli zu erkennen,mit dem äußerst geringen Durchmesser von etwa 150 A (SCHMITT,MAXFIELD).Den Neurotubuli wird eine Stützfunktion zur Aufrechterhaltung der Zellform zugeschrieben.Das ist notwendig, weil im Axon eine Strömung des Plasmas in proximo-distaler Richtung erfolgt.Auf diese Weise werden Proteine,Mitochondrien und wahrscheinlich auch andere Strukturen vom Perikaryon in die Peripherie geschoben.Das Axon verläuft ohne Zwischenmembran durchgehend vom Zellkörper bis zum Erfolgsorgan.In regelmäßigen Abständen (1-3 mm)wird es im Bereich der RANVIERschen Schnürringe fast bis auf die Hälfte des Durchmessers eingeschnürt.An diesen Stellen liegen die Axonfilamente und Mitochondrien dichter beieinander.Nach außen ist der Achsenzylinder durch das Axolemm abgegrenzt,dem die SCHWANNsche Scheide mit der Markschicht anliegt.

b) SCHWANNsche Scheide:

Die SCHWANNsche Scheide,die den Achsenzylinder von seinem Abgang aus dem Spinalganglion bis zum Endorgan umschließt,besteht aus einer Aneinanderreihung einzelner,untereinander nicht in Verbindung stehender SCHWANNscher Zellen.Dem Axonsegment zwischen zwei RANVIERschen Schnürringen ist jeweils eine SCHWANNsche Zelle zugeordnet,die dieses Stück spiralig umhüllt.WALLRAFF nennt die SCHWANNsche Scheide einen "gestückelten Zellschlauch".

Die meisten peripheren Nervenfasern sind markreich (weiße Nervenfasern).Elektronenoptisch konnte nachgewiesen werden,daß die Markschicht von den SCHWANNschen Zellen aufgebaut wird und deren Bestandteil bleibt.Dabei stellt man sich die Entstehung der Myelinschicht so vor,daß die SCHWANNsche Zelle,die dem Axon anliegt,dieses spiralenförmig umwächst.Da die zirkulären, konzentrischen Schichten nach der ersten Umkreisung sehr straff geführt werden und Zellkern und Zytoplasma in Richtung der Bewegung entweichen,bestehen die konzentrischen Lagen nur aus den beiden aneinandergepreßten Zellmembranen der SCHWANNschen Zelle, also sich abwechselnden Protein- und Lipoidschichten.Im Elektronenmikroskop ließ sich eine Periodizität der Schichtung von annähernd 120 A feststellen.In der äußersten Schicht finden sich der ovale Zellkern und das Zytoplasma.Das Perikaryon enthält Mitochondrien,die ELZHOLZschen Körperchen, π-Granula und Vakuolen.Die Gesamtheit dieser Lagen drückt sich in der Dicke der Markscheide aus,welche dem Faserdurchmesser proportional ist.Im Bereich der RANVIERschen Schnürringe ist das Axon für etwa 0,5 μ unbedeckt;hier ist der Markmantel unterbrochen.An diesen Stellen liegen die fingerförmigen Fortsätze der benachbarten SCHWANNschen Zellen,die ineinander verzahnt sind,direkt dem Achsenzylinder auf.Bei der Erregungsleitung kommt der Markschicht die Funktion eines Isolators zu.Weiterhin soll sie an der Bildung von Aktionsstoffen beteiligt sein (Acetylcholin, Aneurin,Kalium);nicht zuletzt stellt sie eine wirksame Diffusionsbarriere dar.Aufgebaut ist die Markschicht aus einem Gemisch von Lipoiden,ihre wesentlichen Bestandteile sind Cholesterin, Lecithin,Cerebroside,Sphingomyelinc,Cephalin B,Serincephalin und Acetalphosphatide.

In den Abschnitten zwischen den RANVIERschen Schnürringen sind gewöhnlich trichterförmige,die Markschicht rundum durchsetzende Spalten erkennbar,die SCHMITT-LANTERMANNschen Einkerbungen. Die Ursache ihrer Entstehung ist nicht eindeutig geklärt.Einefseits macht man den Verlust des Tonus der Nervenfaser bei Fixierung oder pathologischem Geschehen (Degeneration) dafür verantwortlich(YOUNG),andererseits nimmt man an,daß es sich um Strukturfehler bei der Markscheidenbildung handelt.
Den RANVIERschen Schnürringen kommt beim markreichen Nerven grosse Bedeutung bei der Erregungsleitung zu,da sich hier die aktiven Erregungsvorgänge abspielen;ferner sollen die nodalen Bezirke für den Stoffwechsel von Bedeutung sein.Der Abstand der Internodien,durchschnittlich 1 - 2 mm,ist dem Faserdurchmesser und der Faserlänge proportional.Im Bereich vor den Endorganen und bei Nervenregeneration ist die Segmentlänge kürzer,worunter jedoch die Leitungsgeschwindigkeit nicht leidet.
Ist ein Nerv nur aus Achsenzylinder und SCHWANNscher Scheide aufgebaut,wird er als markarmer Nerv (REMAK: graue Nervenfaser) bezeichnet.Hier verhält es sich in der Regel so,daß mehrere Achsenzylinder in eine SCHWANNsche Zelle eingebettet sind und von deren Zellmembran umhüllt werden (Abb. 6.).Nervenfasern dieser Art sind in den Nerven des autonomen Nervensystems in großem Ausmaß vertreten.

2. Bindegewebige Umhüllung

a) Endoneurium

Jede Nervenfaser wird von einem Endoneuralrohr umgeben,dessen innere Gewebeschicht,die Gitterfaserschicht oder PLENK-LAIDOWsche Scheide der SCHWANNschen Scheide anliegt.Sie besteht hauptsächlich aus retikulären Bindegewebsfasern.Die äußere Schicht ist aus feinen kollagenen längsgerichteten Fasern aufgebaut und wird von einzelnen elastischen Fasern durchsetzt.Sie wird die Fibrillenscheide oder HENLEsche Scheide genannt.
Dieses Endoneuralrohr bleibt nach der Degeneration der Axone und Myelinscheiden als Leitgewebe für die regenerierenden Fasern erhalten.Diese äußere Membran geht allmählich in das lockere, Blutkapillaren führende Bindegewebe des Endoneuriums über,das die interneuralen Räume ausfüllt und den eingebetteten Fasern eine wenn auch geringe Verschiebbarkeit gewährt.

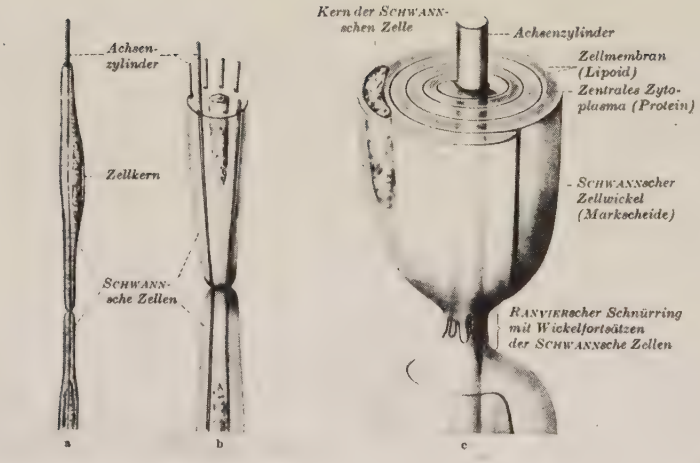


Abb. 6. Verhalten der SCHWANNschen Zellen zu den Achsenzylindern (nach ELIAS und PAULY,aus WALLRAFF:Leitfaden der Histologie des Menschen):

a) markreiche Nervenfaser;
b) markarme Nervenfasern;
c) Aufbau der Markschicht durch spiralenförmiges Wachstum der SCHWANNschen Zellen.

b) Eine größere Anzahl von Nervenfasern mit dem sie umgebenden Endoneurium wird von einer dichten Bindegewebshülle mit gröberen Kollagenfasern,dem Perineurium,zu Nervenfaserbündeln oder Faszikeln zusammengefaßt.Auch beim konzentrisch geschichteten Perineurium unterscheidet man zwei Schichten:eine innere,das Neurothel,das den Endoneuralraum umschließt und ihn nach außen abschirmt und eine äußere Schicht,die aus derben kollagenen Fasern besteht und mithilft,den Nerven vor Überdehnung zu schützen.Die Dicke dieser Schicht wächst mit der Belastung und der Zahl der Nervenfasern.

c) Epineurium:

Durch eine noch dickere,grobstrukturiertere Bindegewebsscheide, dem Epineurium,werden einzelne Faszikel zum peripheren Nerven zusammengeschlossen.Derbe kollagene längsorientierte Faserbündel und ein Netz elastischer Fasern sind in das lockere Bindegewebe eingewoben,um dem Nerven Elastizität zu verleihen.

3. Blutgefäßsystem

Arterielles Blut erreicht über dünne Arterien aus den benachbarten Gefäßen den Nerv.Sie dringen in sein epineurales Bindegewebe ein und teilen sich in Längsäste,die nach proximal und distal verlaufen.Vielfältige Anastomosenbildung zwischen diesen Längsästen erlaubt es,einen Nerven auf längere Distanz zu mobilisieren,ohne daß eine Schädigung infolge Ischämie befürchtet werden müßte.
Von den Längsästen zweigen Arterien mit noch feinerem Kaliber ins Endoneurium ab und versorgen dort das in der Nähe der Henle'schen Scheide gelegene Kapillarnetz.

Die Nervenfasern,die einen peripheren Nerven aufbauen,können von unterschiedlicher Dicke sein.Der Durchmesser der Achsenzylinder und die Dicke der Markscheide stehen in einem Abhängigkeitsverhältnis.
Nicht alle Fasern in einem Nerven laufen streng parallel,so daß beim Durchschneiden manchmal Fasergruppen oder Faszikel wegen ihres gewundenen oder wellenförmigen Verlaufes schräg getroffen werden (Nervenfaserwirbel).
Wichtig ist auch die Beobachtung,daß sehr häufig Nervenfasern von einem Bündel zum anderen ziehen.Im Rahmen dieses ständigen Umbaus können innerhalb des Nerven einzelne Faszikel als Ganzes ihre Lage wechseln,sich verzweigen oder mit anderen einen neuen größeren Faszikel bilden.Dies können auch beliebig große oder kleine Fasergruppen oder auch vereinzelte Nervenfasern.
Schnitte in kurzen Abständen zeigen ein immer wieder unterschiedliches Faszikelmuster.Nach FOERSTER kann ein bestimmtes Querschnittsbild nur auf einer Strecke von 0,6 - 6 mm verfolgt werden.
Dieser Vorgang der fortwährenden Positionsänderung der Nervenfasern läßt die immer wieder vertretene Ansicht von einer Querschnittstopographie (STOFFEL) des Nervs fragwürdig erscheinen.

Ist ein Aktionspotential entstanden,erfolgt die Erregungsleitung in der markarmen Faser kontinuierlich,was bedeutet,daß die gesamte Membranoberfläche von der fortschreitenden Störung ergriffen wird.In der markreichen Faser pflanzt sich die Erregung infolge der isolierenden Wirkung der Markscheide saltatorisch fort,von Schnürring zu Schnürring.Dieser Mechanismus erhöht die Leitungsgeschwindigkeit beträchtlich.

Mit Zunahme des Axondurchmessers,der Dicke der Myelinschicht und des Knotenabstandes wächst bei markreichen Fasern die Leitungsgeschwindigkeit.

Im peripheren Nerven werden 3 Fasertypen nach Beschaffenheit und Funktion unterschieden:

Gruppe A : Durchmesser 2,5 - 20μ;Leitungsgeschwindigkeit 15-120 m/Sek;schnelleitende motorische efferente und sensible afferente Fasern;

Gruppe B : Durchmesser 1 - 3μ; Leitungsgeschw. 3 - 15 m/sek; dünne Markschicht;präganglionäre vegetative Fasern;

Gruppe C : Durchmesser 0,3 - 1,5μ;Leitungsgeschw. 0,5 - 2 m/sek; markarm;postganglionäre Fasern des Sympathikus;

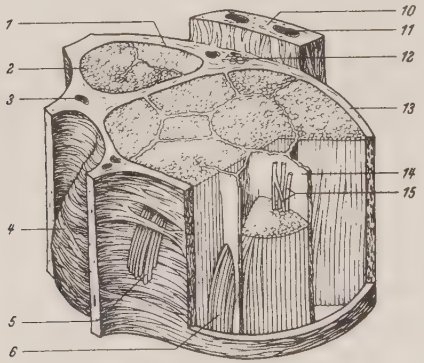


Abb.7. Aufbau eines peripheren Nerven,Ausschnitt (nach R.HIPPELI aus MUMENTHALER:Läsionen peripherer Nerven).

1) Perineurium,einen Faszikel umhüllend;
2) Nervenfasern;
3) kleine Blutgefäße;
4) sich vorwölbendes Perineurium,hervorgerufen durch sich neu bildenden Faszikel;
5) in einen benachbarten Faszikel übertretendes Faserbündel;
6) Faseraustausch innerhalb eines Faszikels;
10) Epineurium (Längsfasern);
11) große Blutgefäße;
12) Fettgewebe;
13) Perineurium (Ringfasern);
14) Endoneurium;
15) sich verzweigende Nervenfasern;

Pathologie des peripheren Nerven

Die Probleme der Regeneration bleiben unverständlich,wenn wir uns nicht zunächst die zeitlich vorausgehenden degenerativen Veränderungen an der Nervenfaser und ihren Endorganen vor Augen stellen.

Degeneration

Die Untersuchungen WALLERs 1852 sind der Ausgangspunkt aller wesentlichen Kenntnisse der patho-morphologischen Vorgänge an der peripheren Nervenfaser.Er stellte fest,daß bei entsprechend ernster Schädigung (z.B. Durchtrennung) in dem mit dem Neuron nicht mehr in Verbindung stehenden Abschnitt der Nervenfaser eine sekundäre = Wallersche Degeneration auftritt.Daß auch der zentrale Stumpf Veränderungen unterliegt,die unter dem Begriff der "retrograden Degeneration" zusammengefaßt werden,wurde später festgestellt.Beide Prozesse zeigen unterschiedlichen Verlauf.

I. Sekundäre oder WALLERsche Degeneration

Die WALLERsche Degeneration ist immer dann zu beobachten,wenn der Achsenzylinder in seiner Kontinuität - auch bei erhaltengebliebenen äußeren Strukturen (Druck,Kälte,Hitzekoagulation) - unterbrochen ist,der periphere Faserteil also von seinem trophischen Zentrum,der Ganglienzelle, getrennt ist.Sie erfaßt den gesamten peripheren Abschnitt und ist von der Art des Traumas unabhängig. Unentschieden scheint die Frage zu sein,ob die sekundäre Degeneration den gesamten abgetrennten Abschnitt der Nervenfaser bis zum Endorgan gleichzeitig ergreift oder ob sie in zentrifugaler Richtung fortschreitet.Sie läuft ebenso bei Verletzung einer Nervenfaser ab,wie nach Läsion eines ganzen Bündels oder Stammes. Als Ursache der WALLERschen Degeneration diskutiert man das Fehlen eines trophischen Stromes von der Nervenzelle in den abgetrennten Teil des Achsenzylinders (Axoplasmaströmung);andere weisen auf die Bedeutung des Zellkerns als Regulations- und Informationszentrum hin.Bei der Beurteilung der Histopathologie der WALLERschen Degeneration muß die Tatsache berücksichtigt werden,daß regressive Prozesse an Axon und Markscheide neben progressive an den Schwannschen Zellen und dem Gefäß-Bindegewebsapparat treten.

Die Veränderungen am distalen Nervenabschnitt betreffen zunächst den Achsenzylinder und führen zu Axolyse und physikalischer Fragmentation.Das Elektronenmikroskop zeigt deutlich,daß die sekundäre Degeneration durch Veränderung des Axoplasmas und seiner Organellen eingeleitet wird.Dies äußert sich in der Änderung der primären Anfärbbarkeit des Axons.Die zunächst feststellbare Anschwellung des Achsenzylinders ist ein Zeichen der Flüssigkeitsaufnahme,verursacht durch Permeabilitätsstörung des Axolemms, wodurch es zum Einströmen von Elektrolyten aus dem extrazellulären Raum kommt.Elektronenoptisch zeigen sich in den ersten 6 - 12 Std. außer der Mitochondrienanschwellungen in den der Läsion nahen Bezirken des Axoplasmas keine wesentlichen Veränderungen.
Nach 24 - 50 Std. beobachtet man bei einem Teil des Mitochondrienbestandes hochgradige Schwellung,bedingt durch die Steigerung des Wassergehaltes im axonalen Raum.In dieser Zeitspanne zeigen die Markscheiden in der Regel noch keine Alterationen.
Die Neurotubuli verklumpen oder zerfallen in feingranuläre Substanzen,das endoplasmatische Retikulum desintegriert in kleine Vesikeln.Nach drei Tagen erscheinen diese Verklumpungen der Axoplasmastrukturen noch deutlicher.Im Silberbild sieht man um den dritten Tag nach der Läsion Ausbuchtungen und Einkerbungen in der Kontur der aufgetriebenen Achsenzylinder (Perlschnurbildung).
Die Fragmentation des Axons,die den Markmantel in Mitleidenschaft zieht,ist in Gang.Schließlich kommt es zu einer Entmischung der veränderten Axoplasmasubstanz,wobei sich flüssige Phasen und Abschnitte mit Ansammlungen verklumpter Zerfallsprodukte ablösen.
Nach neueren Forschungen wird die Desintegration der Neurotubuli durch Änderung des pH - Wertes und des Ionenmilieus hervorgerufen.
Diese verklumpten Zerfallsprodukte liegen teils frei im Hohlraum der Markrohre,teils sind sie in Markballen eingeschlossen,in welche der Markmantel seinerseits zerfällt.Die Axolyse soll nach 15 - 20 Tagen beendet sein.
Die Markmantelveränderungen,ein ebenfalls regressiver Prozeß der WALLERschen Degeneration,gehen einher mit den Zerfallsvorgängen am Achsenzylinder.Schon in den ersten Stunden nach der Läsion tritt eine Veränderung der Doppelbrechung des Markmantels ein,verursacht durch chemischen Umbau des Myelins.

Nach 16 Stunden beginnt sich das Mark von den RANVIERschen Schnürringen zurückzuziehen.Frühzeitig läßt sich feststellen, daß der Desintegrationsvorgang des kompakten Markmantels an der Oberfläche seinen Anfang nimmt.WEBSTER beobachtete während der ersten 24 Std. eine Zunahme und Verbreiterung der SCHMIDT - LANTERMANschen Einkerbungen.An diesen Stellen fragmentiert der Markmantel.Die Markscheide,deren Oberfläche zunehmend unebener und krustiger wird,zerfällt unter Bildung tiefer Einschnürungen zunächst in große Einzelfragmente.Dieser Vorgang ist am dritten Tag in vollstem Gange.Die großen Einzelteile zeigen Tendenz zu immer kleinerer Fragmentation,sie zerfallen weiter in rundliche und ovale Klumpen und Schollen.Außerdem treten bei Fortschreiten der Abbauprozesse konzentrisch geschichtete Myelinkugeln (Absplitterungen der Markoberfläche) und dichte osmiophile Tropfen,die in Vakuolen liegen,auf.Schon nach 7 Tagen bilden die Markballen die letzten Überreste der Markscheide.
Die Zerfallsvorgänge sollen in den dicken Nervenfasern früher einsetzen als in den dünnen.Als Ursache des Markmantelzerfalls wird allgemein die Wirkung physikalischer Kräfte angenommen,so eine Erniedrigung der Oberflächenspannung durch den Zusammenbruch des Axonturgors,der zum Zerfall der Markscheide führen soll. Die großen Kugeln und Ballen,die bei der Fragmentation der Markscheide entstehen,umfließen die Fragmente des nekrotischen Axons,verflüssigen und resorbieren diese;danch zerfallen sie wieder in Kugeln und Tropfen.
Von großer Wichtigkeit für den Abbau der Fasern sind die SCHWANNschen Zellen.Es besteht heute Einigkeit darüber,daß die Zerfalls- und Abbauprozesse im wesentlichen innerhalb der Schwannschen Zellen ablaufen.Ob sie dabei aus dem Verband und damit aus der Basalmembran treten und sich wie Abräumzellen mesenchymaler Herkunft frei bewegen,läßt sich nur schwer entscheiden (HAGER).Schwannsche Zellen,die in ihren Zellkörper große Mengen von Zerfallsprodukten aufgenommen haben,werden als Myelophagen bezeichnet.Die Abbauprodukte in den Schwannschen Zellen zeigen Tendenz zur Abrundung.Nicht selten kommt es zu Kernpyknosen,was darauf hindeutet,daß ein Teil der mit Abbauprodukten beladenen Zellen zugrunde geht.

Der Abbau des Myelins durchläuft mehrere Stadien,die das Lipoid zu einem Neutralfett umbauen.Dabei spricht man je nach Anfärbbarkeit von einem MARCHIstadium (Chromosmiumanfärbbarkeit der Zerfallsprodukte),vom 8. Tag an bis in die dritte Woche feststellbar,mit einem Höhepunkt um den 12. Tag,dem Zeitpunkt der stärksten Markballenbildung,und dem Scharlachrotstadium (15. - 20. Tag).

Während dieser Stadien treten im Bereich der Markballen neben die Schwannschen Zellen zunehmend Zellen mesenchymaler Herkunft, vor allem Histiozyten. Wenn die Resorption ihren Höhepunkt erreicht,findet man sie als Fettkörnchenzellen in der Umgebung von Gefäßen,auch außerhalb des Endoneuralrohres.

Achsenzylinder und Markscheide sind nach etwa 25 Tagen fast vollständig verschwunden,doch lassen sich anfärbbare Abfallprodukte in den distalen Endoneuralrohren noch 3 - 5 Monate (KRÜCKE; FOERSTER) nach der Verletzung feststellen.Bei der Regeneration können diese Schollen die aussprossenden Axonregenerate am Vordringen in die Peripherie hindern.

Auch die Nervenendapparate,die motorische Endplatten wie die sensiblen Endorgane werden in den Prozeß der sekundären Degeneration einbezogen.Nach BOEKE zeigen die motorischen Endplatten schon wenige Stunden nach der Nervenläsion degenerative Veränderungen. Es kommt zum Zerfall der Neurotubuli und zur Bildung klumpiger Massen im Axoplasma.Diese zerfallen weiter in Schollen und Bläschen,welche dann vollständig resorbiert werden.Hierbei verschwindet auch das periterminale Netz.Die leere Sohlenplatte unterliegt weiteren degenerativen Vorgängen.Ebenso verschwinden auch die sensiblen Endapparate.

Parallel zu diesen Degenerationsvorgängen an Axon und Markscheide und den oben geschilderten reparatorischen Vorgängen der Resorption der Zerfallsprodukte,kommt es zu Veränderungen,die zum Regenerationsvorgang in enger Beziehung stehen und für diesen eine notwendige Vorbedingung darstellen.

Die frühesten Veränderungen der Schwannschen Zellen treten etwa 14 - 16 Stunden nach der Verletzung auf,und zwar in Form einer Zunahme des kernnahen Plasmas.Dieses vermehrte Zellplasma füllt später die Lücken zwischen den Fragmenten der zerfallenden Fasern aus.Daneben stellt sich frühzeitig eine intensivere Anfärbbarkeit der Kerne ein,was auf einen gesteigerten Kernsäuregehalt zurück-

zuführen ist.Schon am 2. und 3. Tag werden Mitosen beobachtet, doch kommt die mitotische Teilung erst ab dem 4. Tag sehr stark in Gang.Die Proliferation setzt ein,die noch bis zum 25. Tag zunimmt.Abhängig von der Faserart nimmt die Zahl der Schwannschen Zellen um das 5 - 15 fache zu.

Die Schwannschen Zellen ordnen sich zu typischen synzytialen Verbänden,den HANKE - BÜNGNERschen Bändern,an,die die einwachsenden Fasern als Gleitschiene benützen. Die BÜNGNERschen Bänder spiegeln durch ihren parallelen Verlauf die ursprüngliche Anordnung der zugrundegegangenen Nervenfasern deutlich wieder.Auch wenn keine Regeneration eintritt,bleiben die Schwannschen Zellen in diesem differenzierten Zustand.Man bezeichnet dieses Stadium das Bandfaserstadium des Nerven.

Obwohl bei den Vorgängen der sekundären Degeneration das Endoneurium ganz unbeteiligt bleibt,kommt es doch zu gewissen Veränderungen der Hüllen.Etwa vom 12. Tag an beginnen die zunächst verbreiterten Endoneuralrohre zu schrumpfen.Tritt keine Regeneration ein,so schreitet dieser Prozeß weiter fort.Nach ungefähr einem Jahr hat sich der Durchmesser um etwa 40 % verringert. Dabei bewahrt das periphere Nervenstück aber im wesentlichen seine architektonische Anlage.SPIELMEYER konnte dies am peripheren Abschnitt noch nach 2,3 und 4 Jahren feststellen.Der Kollagengehalt des Bindegewebes steigt nach ungefähr 100 Tagen auf das Doppelte an.Die klobige Anschwellung am peripheren Nervenstumpf,das periphere Neurom,besteht zumeist aus Bindegewebe,Granulationsgewebe,eingelagerten Fremdkörpern mit Riesenzellen,Blutresten,Zerfallsprodukten der Nervenfasern und vor allem Schwannschen Zellen.Dabei kann es an der Läsionsstelle zu einer von Fall zu Fall verschieden stark ausgebildeten Wucherung des Endo- und Perineuriums kommen.Dieses Narbengewebe muß bei der Nervennaht genügend weit reseziert werden.

II. Retrograde Degeneration

Die Vorgänge am proximalen Abschnitt des durchtrennten peripheren Nerven,retrograde Degeneration genannt,umfassen eine Auftreibung des Achsenzylinders und eine primäre retrograde Veränderung im Bereich des Perikaryons.

Frühzeitig wird als vitale Reaktion eine starke Auftreibung des Achsenzylinders beobachtet;sie ist schon 10 Stunden nach der Läsion stärker ausgebildet als die Anschwellung des distalen Endstückes.Heute gilt es als erwiesen,daß die Axonauftreibung nach der Läsion durch eine Häufung cytoplasmatischer Strukturen hervorgerufen wird und nicht durch Flüssigkeitsaufnahme.
Die Veränderungen am verletzten Internodium des proximalen Stumpfes äußern sich in schweren Alterationen des Axoplasmas und im Zerfall der Markscheide.Diese Vorgänge - denen der sekundären Degeneration ähnlich - werden vom dritten Tag an beobachtet.Die retrograde Degeneration erstreckt sich gewöhnlich nur bis zum nächsten Ranvierschen Schnürring,selten weiter nach proximal.Gleichzeitig setzt die Proliferation der Schwannschen Zellen ein.

R e g e n e r a t i o n

Da es sich bei der Regeneration der Nerven um die Erneuerung von Zellen handelt,die komplizierte koordinierende Leistungen vollbringen,wird klar,daß ihr Mechanismus sehr diffizil ist. Deshalb sind bisher auch noch viele Fragen dieses Erneuerungsprozesses unbeantwortet geblieben.
Früher standen sich zwei Theorien über die Art der Regeneration gegenüber.Die Verfechter der einen,der polygenetischen oder autogenetischen Theorie,nahmen an,daß der Achsenzylinder durch die Schwannschen Zellen des peripheren Stumpfes neu gebildet wird.Heute gilt die monogenetische Theorie als gesichert,die die Bildung der neuen Axone ausschließlich dem zentralen Stumpf zuschreibt,da das Neuron in Bezug auf Morphologie,Trophik und Funktion eine Einheit darstellt.
Zunächst sei auf die große Leistungskraft der Nervenzelle hingewiesen.Sie produziert während eines erfolgreichen Regenerationsvorganges etwa das 50 - 100-fache der gesamten organischen Substanz des Zellkörpers (HYDEN).

Der nun geschilderte Regenerationsvorgang tritt ein bei erfolgreich durchgeführter Nervennaht.Da die Fasern in ihrer Kontinuität unterbrochen sind,wird zunächst der Raum zwischen dem proximalen und distalen Nervenendstück mit seröser Flüssigkeit,Blutkoagula und granulierendem Bindegewebe ausgefüllt. Auf Grund physikalischer Bedingungen kommt es zu einer Längsorientierung der Strukturen (WEISS).Diese nehmen sich die vom distalen Stumpf unter lebhafter mitotischer Teilung vorsprossenden Schwannschen Zellen als "Fahrbahn".Um den 9. Tag beginnen sich die in das Granulationsgewebe der Narbe auswandernden Schwannschen Zellen zu einem synzytialen Verband zusammenzuschließen,den HANKEN - BÜNGNERschen Bändern.In den der Nervendurchtrennung folgenden 25 Tagen wird eine Vermehrung der Schwannschen Zellen um das 13-fache festgestellt.Als Impuls für die Proliferation ist das Zugrundegehen von Nervengewebe anzusehen.So entsteht für die vorsprossenden Axonregenerate ein ideales Leitgewebe,das ihnen den Weg durch das Granulationsgewebe der Narbe erleichtert und sie in die Hanken - Büngnerschen Bänder der distalen Endoneuralrohre lenkt,die die weitere "Führung" zu den Endorganen übernehmen.Für die Wiederherstellung der Funktion scheint dies ein entscheidender Mechanismus zu sein,da die aus dem zentralen Stumpf sprossenden Axone für ihr weiteres Wachstum des Leitgewebes der Schwannschen Zellen unbedingt bedürfen (BIELSCHOWSKY).

Das Aussprossen der jungen Achsenzylinder setzt mit überraschender Geschwindigkeit ein,schon 3 - 4 Stunden nach der Läsion. In den proximalen angeschwollenen Faserstümpfen bilden sich Wachstumskegel,aus denen nicht selten an einem Axonende ganze Büschel von pseudopodienartigen protoplasmatischen Sprossen entstehen.Gewöhnlich wachsen auch seitlich,ein Stück proximal der Durchtrennungsstelle,im sogenannten Übergangssegment Seitensprosse aus,in Richtung Läsionsstelle.Die Zahl der neu gebildeten Axone ist also bedeutend größer als die der degenerierten.

Histochemisch wurde in den proximalen Anschwellungen eine Steigerung der Aktivität verschiedener oxydativer Enzyme festgestellt (FRIEDE;KREUTZBERG und WECHSLER).Im Elektronen-

mikroskop beobachtet man eine Häufung kleiner Mitochondrien und dichter Körper,des weiteren von Vesikeln,Bläschen und Tubuli.In den Axonregeneraten finden sich Vesikeln,Tubuli und Mitochondrien in vermehrter Zahl.Diese Ansammlung von Mitochondrien läßt auf eine starke Phosphorylierungsrate schließen.
Über die Synthese der benötigten Proteine herrscht Unklarheit, da eine Ribosomenanhäufung nicht auffindbar ist.
Wie sich das Wachstum und die Anhäufung von Organellen im proximalen Axonstumpf und in den Axonsprossen erklären lassen, ob durch Transport (WEISS und HISCOE:Axoplasmastrom; LUBINSKA:bidirektionale Axoplasmaströmung) oder durch Entstehung an Ort und Stelle (HAGER: wenigstens für die zytoplasmatischen Vesikeln),ist nicht eindeutig geklärt.
Die Achsenzylinder,einzeln oder in Büscheln vorsprossend,zeigen in diesem frühen Stadium noch keine Beziehung zu den Schwannschen Zellen.Das Auswachsen der Achsenzylinder vom zentralen Stumpf her erfolgt wild.Die Axone divergieren nach allen Richtungen,kreuzen und verflechten sich mit anderen Regeneraten, spalten sich vielfach,zeigen kurze Seitensprosse oder anastomosieren miteinander.
Nicht wenige Axonregenerate - besonders in den Randgebieten - biegen förmlich um 180 Grad um und wachsen in rückläufiger Richtung.Fasern,die frei im Gewebe endigen,bilden am freien Ende eine Keule.Andere stoßen bei ihrem Vordringen im granulierenden Bindegewebe offensichtlich auf Widerstand,so daß sich wirre Knäuel,die sogenannten PERRONCITOschen Spiralen,bilden. Die Fasern winden sich dabei in Spiraltouren rückläufig um sich selbst.
Je ungeordneter das Gewebe zwischen den Stümpfen ist,desto häufiger kommt es zu Abweichungen der Fasern.Bei günstigen Narbenverhältnissen erreichen jene Achsenzylinder,die auf die geordneten Zellbänder der Schwannschen Zellen treffen,in genügender Zahl die Endoneuralrohre des distalen Nervenstumpfes und führen dann zu einer raschen Neurotisation.
Dringt aus der Umgebung Bindegewebe in den Durchtrennungsspalt ein,so kann das Ausmaß und die Beschaffenheit der bindegewebigen Infiltration die neurale Regeneration zum Ersticken bringen.

Bevor die Axonsprosse in die Endoneuralrohre eintreten,verzweigen sie sich noch einmal,wie schon zuvor am proximalen Stumpf und im Narbengewebe.Dadurch ist gewährleistet,daß in jedem Endoneuralrohr des distalen Stumpfes mehrere,allerdings

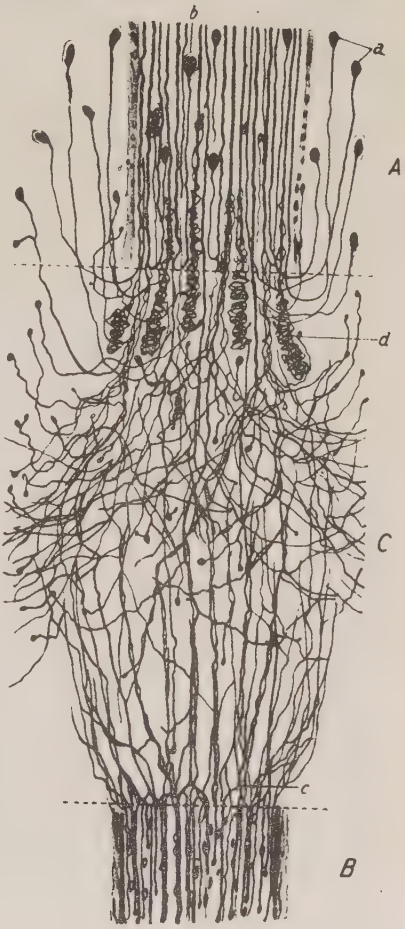


Abb.8.Verhalten der regenerierenden Axone nach Naht eines durchtrennten peripheren Nervs (nach CAJAL,1928).

A:proximales Nervenendstück mit aussprossenden Axonen;
B:distales Nervenendstück;
C:Narbengewebe;

a und b:keulenartige Endauftreibungen rückläufiger Achsenzylinder;
c:sich vor dem Eintritt in die distalen Endoneuralrohre verzweigender Achsenzylinder;
d:PERRONCITOsche Spirale;

sehr feine Axone liegen (Hyperneurotisation).Die enorme Überproduktion von Nervenfasern am zentralen Stumpf ist von größter praktischer Bedeutung für die Nervennaht,weil dadurch und durch die allseitige Divergenz der Fasern fast von jedem zentralen Kabel jedes periphere Kabel neurotisiert wird.Dadurch wird eine

isolierte Wiederverbindung homologer Kabel des zentralen und peripheren Stumpfes ausgeschlossen (FOERSTER).Diese Tatsache enthebt den Operateur auch der Notwendigkeit,bei der Nervennaht auf strenge Adaptierung kongruenter Teile des zentralen und peripheren Abschnittes zu achten (FOERSTER).Von Wichtigkeit ist dieser Umstand auch,wenn auf einen großkalibrigen peripheren Stumpf ein kleinkalibriger zentraler aufgenäht werden muß.

Von den richtungsbestimmenden Faktoren - man nahm axonale Turgeszenz,Neurotaxis,Chemotaxis und vieles andere an - scheint die "Kontaktführung" das wichtigste Faktum zu sein.

Auf die Bedeutung der für die Axone lebenswichtigen SCHWANNschen Zellen ist teilweise schon hingewiesen worden.Während des Regenerationsprozesses kommen den Schwannschen Zellen zwei große Aufgaben zu,erstens Leitbahn zu sein bei der Überbrückung des Narbengewebes und auf dem Weg zum Endorgan und zweitens die Bildung der Markschicht.

Eine Vielzahl Schwannscher Zellen wird durch eine gemeinsame Basalmembran in einem geordneten Zellverband,dem HANKEN-BÜNGNERschen Band zusammengehalten.Durch Auseinandertreten einzelner Zellfortsätze kommt es zur Bildung einer Röhre,die als Bahn den vorsprossenden Axonen dient.Einige Autoren sind der Ansicht,daß neurale Fibroblasten oder peri- und epineurale mesenchymale Zellelemente die neuen Leitbahnen bilden,somit die Aufgabe der Schwannschen Zellen übernehmen können.Dagegen spricht,daß es schon sehr früh im Regenerationsablauf zu einer enorm lebhaften Proliferation der Schwannschen Zellen kommt (HAGER).Diese oben erwähnten Basalmembranen bilden ein stabilisierendes Gewebsskelett.Da in der Nähe der Schwannschen Zellen oft Kollagenfibrillen beobachtet werden,nehmen NATHANIEL und PEASE,und ebenso THOMAS an,daß die Schwannschen Zellen Kollagen selbst polymerisieren können.HAGER lehnt die Teilnahme dieser Zellen an der Kollagenbildung ab.

Nachdem die Nahtnarbe passiert und die HANKEN-BÜNGNERschen Bänder im peripheren Stück erreicht sind,wachsen die erfolgreichen Fasern innerhalb der "Gleitbahn" zwischen und in den Schwannschen Zellen schnell vorwärts.Das Schicksal der regenerierten Axone,deren Durchmesser 0,5 - 3,0 µ beträgt,scheint vom Endorgan bestimmt zu werden.Man vermutet,daß die Faser,die als

erste das Endorgan erreicht hat,schneller an Umfang zunimmt. Die überzähligen Fasern atrophieren und verschwinden.Am 100. Tag fand YOUNG in jeder BÜNGNERschen Röhre nur noch wenige Axone oder gar nur noch eines.Über die Steuerung dieser Atrophie herrscht Unklarheit.

Mit dem Auswachsen der Axone beginnt der Myelinisierungsprozeß. Am Beginn dieses Vorganges beobachtet man ein Auseinandertreten der Axone,wobei jeder der sehr feinen Achsenzylinder einen besonderen Zellmantel erhält.Durch die gleichzeitige konstante Proliferation von Schwannschen Zellen wird es möglich,daß eine große Zahl der Fasern eine eigene Schwannsche Scheide erhält. Die Myelinisation zeigt denselben Verlauf wie die Markmantelbildung peripherer Nerven während der Embryogenese.Mit der Entwicklung des Marks tritt eine Kaliberzunahme des Achsenzylinders ein,vielleicht durch den von WEISS vermuteten Axonstrom.Im ersten Zentimeter erreicht die Faser nach ungefähr 80 Tagen die Dicke der zentralen Faser (KOSCIC).

Im günstigsten Fall kann der Nerv wieder seinen ursprünglichen Aufbau zeigen,die Schwannschen Zellen bleiben jedoch vermehrt, die RANVIERschen Schnürringe sind auch später unregelmäßig angeordnet.

Zum Regenerationstempo haben sich bisher folgende Zeiten ermitteln lassen (MUMENTHALER).Im proximalen Abschnitt soll das Wachstum des Axons mit einer Geschwindigkeit von 1,4 mm am Tag erfolgen,im Narbengebiet dagegen werden nur 0,25 mm pro Tag überwunden.Die Regenerationsrate im distalen Stück beträgt 3-4 mm täglich.Sensible Nerven scheinen bedeutend langsamer zu regenerieren und zu refunktionieren als motorische.

Die Endorgane,motorische Endplatten wie sensible Endapparate, unterliegen auch den De- und Regenerationsprozessen ihrer Nerven.So wird zum Beispiel bei der Regeneration der motorischen Endplatte zunächst das periterminale Netzwerk und schließlich die ganze Platte wieder aufgebaut.

Endet der zentrale Stumpf frei und ist er allseits von derbem Bindegewebe umschlossen (Narbenkapsel),so stoßen die zahlreich aussprossenden Axonregenerate bald auf unüberwindlichen Widerstand.Sie schieben sich kreuz und quer durcheinander,kommen

von der geraden Richtung ab,wachsen in die Breite und vermehrt in rückläufiger Richtung.Es entsteht ein Neurom.
Der allseitige Widerstand führt zu einem allmählichen Versiegen der Proliferationstendenz.Schließlich kommt es zu einem Stillstand der Regenerationsanstrengungen der Nervenzelle.Dennoch kann auch noch nach vielen Jahren die Durchführung einer Nervennaht erfolgreich sein,da das periphere Nervenstück sehr lange im postdegenerierten Zustand verweilen kann.Werden die Nervenstümpfe genügend weit angefrischt,so stellt sich die Proliferation wieder im ursprünglichen Ausmaß ein.Ein Mißerfolg hat meist in sekundären Schäden wie irreversibler Muskelatrophie oder Ganglienzelluntergang seine Ursache.
Eine prima reunio von Nervenfasern gibt es nicht (FOERSTER).
Die Regeneration der Nervenfasern im peripheren Stück setzt deren Degeneration voraus.Diese Tatsache ist von entscheidender Bedeutung bei der Frage nach dem Zeitpunkt der Nervennaht.
Wichtig ist die Beobachtung,daß zwischen morphologischem Wachstum und der Wiederherstellung der Funktion unterschieden werden muß (KOSCIC).Diese Koordinationsstörung zwischen Regeneration und Refunktion kann nach beiden Seiten beobachtet werden.
Schlechte Refunktion bei guter Regeneration tritt bei Vorliegen irreversibler Muskelschäden infolge Atrophie auf.Ungeklärt ist das Auftreten einer vollwertigen Refunktion bei unvollständiger morphologischer Regeneration.Besonders günstige Voraussetzungen,wie jugendliches Alter,verfeinerte Operationstechnik und -methode scheinen dabei von Bedeutung zu sein.
YOUNG berichtet,daß das Faserspektrum des regenerierten Nervs noch weit von der Norm entfernt ist,wenn dieser bereits die motorische Funktion wieder aufgenommen hat.
Zu einer zufriedenstellenden Refunktion kommt es nur dann, wenn im Laufe der Regeneration sensible bzw. motorische Nervenfasern in vorher sensible bzw. motorische Endoneuralrohre einwachsen und so wieder zu einem sensiblen bzw. motorischen Endapparat gelangen.Wenn die neu einsprossende Nervenfaser nicht zum ehemaligen Neuron gehört,vollzieht sich in den Nervenzentren eine Funktionsanpassung.Wachsen jedoch sensible Fasern in vorher motorische Endoneuralrohre oder umgekehrt,kommt es zu keiner Refunktion.Diese Nervenfasern bleiben ungenützt und

degenerieren,obwohl nachgewiesen ist,daß eine sensible Faser, sobald sie auf einen Muskel stößt,eine motorische Endplatte bilden kann (FOERSTER).

Nach der Einteilung von SEDDON unterscheidet man drei Haupttypen der Funktionsstörung an peripheren Nerven:

1) Neurapraxie

Es handelt sich hierbei um eine vorübergehende,lokalisierte Fragmentation des Myelins,haupsächlich motorische Fasern befallend.Die Funktionsstörung,die auch "commotio nervi" genannt wird,heilt vollständig in wenigen Tagen oder Wochen aus.

2) Axonotmesis

Infolge Quetschung oder Kontusion des Nervs kommt es hier zu einer Unterbrechung der Kontinuität des Achsenzylinders,jedoch nicht des Endoneuralrohres.Nach der WALLERschen Degeneration mit vollständiger Parese der motorischen,sensiblen und sympathischen Funktionen,tritt in kurzer Zeit vollständige Regeneration ein (Karpaltunnelsyndrom).
Bei Neurapraxie und Axonotmesis ist ein operativer Eingriff nicht notwendig,im Gegensatz zur

3) Neurotmesis

Hier besteht eine völlige Durchtrennung von Achsenzylinder und bindegewebiger Hülle infolge offener Verletzung (Stich, Schnitt,Schuß).Der periphere Nervenabschnitt und die Endorgane unterliegen der WALLERschen Degeneration;wie bei der Axonotmesis kommt es zur kompletten Parese.Erst nach exakter Adaption der Nervenstümpfe durch Naht kann es zur Regeneration kommen. Eine vollständige Wiederherstellung tritt nur selten ein.

Die klassische Nervennaht

Operationstechnik

Operiert wird in pneumatischer Blutleere,was die Dauer der Operation verkürzt und damit die Belastung des Eingriffs mindert.
In Vollnarkose wird das Operationsgebiet genügend weit geöffnet, um ungehindertes Arbeiten zu gewährleisten;gegebenenfalls werden die Verletzungswunden durch Hilfsschnitte verlängert.Die Präparation erfolgt von proximal nach distal,um die nicht allzu seltenen Nerven-Sehnen-Anastomosen zu vermeiden (SCHARIZER) (in unserem Krankengut: 2 Fälle).Sind das proximale und distale Nervenstück präpariert und genügend mobilisiert,werden die Nervenenden für die Naht vorbereitet.
Die Neurome,distal und proximal,die meist in einiger Entfernung voneinander liegen,werden reseziert.Dabei trägt man mit der Rasierklinge scheibenartig das bindegewebig infiltrierte Neurom oder Endstück beginnend an der Traumatisierungszone in Richtung auf den gesunden bzw. degenerierten Nervenabschnitt zu ab.Wie weit dies zu erfolgen hat,bestimmt man zumeist aufgrund des Palpationsbefundes (der gesunde Nerv ist von weicherer Konsistenz als das bindegewebig infiltrierte Nervenstück;Vorsicht:besonders weich ist der degenerierte Nervenabschnitt;) oder beurteilt es nach dem makroskopischen Aussehen.Der periphere Querschnitt erscheint infolge der Degeneration glasig homogen,grau-gelb,ohne deutliche Bündelung,während die proximale Schnittfläche graurötlich gefärbt ist.Eine genügend weitreichende,radikale Anfrischung ist notwendig,um den aussprossenden Axonen ein geordnetes,hindernisfreies Auswachsen zu ermöglichen.
Da bei der Schnittführung das Perineurium etwas retrahiert,wird eine nochmalige Kürzung der vorquellenden Axone empfohlen;dadurch wird bei der Naht vermieden,daß die Axone aneinander gedrückt werden,was zu einem ungeordneten Wachstum führt.
Sind beide Enden soweit optimal vorbereitet und ist der Abstand zwischen ihnen nicht zu groß,erfolgt die Vereinigung durch Naht.

Zuerst setzt man den sog. Viererzug (LANGE),bestehend aus je zwei epineuralen Haltefäden an den Nervenstümpfen,die in gekreuztem Zug für eine provisorische spannungslose Adaption der Querschnitte sorgen und jede Verdrehung der Nervenstümpfe verhindern.

Beim Setzen der Einzelknopfnähte,die symmetrisch verteilt und gleichmäßig angezogen werden sollen,darf die Nadel das Epineurium,höchstens das Perineurium erfassen.Ein mehrmaliges Ein- und Ausstechen ist zu unterlassen,da dies eine zusätzliche unnötige Traumatisierung bedeutet (MUMENTHALER).Außerdem sollten aus dem gleichen Grunde mit einer Nadel nicht mehr als 3 - 4 Nähte gesetzt werden.

Als Nahtmaterial wird feine atraumatische Seide empfohlen 6,0 ; 7,0 mit doppelter Armierung.

Die Zahl der notwendigen Nähte richtet sich nach dem Kaliber des Nerven.Während der nervus medianus im Vorderarmbereich durchschnittlich 10 - 12 Einzelknopfnähte erfordert,genügen an den Fingernerven meist 4 - 6 .Dabei ist darauf zu achten,daß es nicht durch ein Zuviel an Nahtmaterial zu einer Konstriktion der Nahtstelle kommt.

Ziel der exakten Nervennaht ist es,durch möglichst gute Abdichtung des epineuralen Rohres ein Einwuchern von Bindegewebe zu verhindern und andererseits ein Auswachsen von Axonen zu unterbinden.

Nach Eröffnung der Blutleere und sorgfältiger Blutstillung wird die Wunde geschlossen und der Arm für 3 Wochen in einem Gipsverband ruhiggestellt.

Eine ideale Nahttechnik muß bestrebt sein,eine volle Wiederherstellung des Faszikelmusters in der Peripherie des durchtrennten Nerven zu erreichen (SUNDERLAND).

Da die Axone eine sehr hohe Regenerationstendenz besitzen,bleibt es Aufgabe des Operateurs,die vorwachsenden Achsenzylinder in die richtige Bahn zu lenken und alle Vorgänge,die die Regeneration behindern können,auszuschalten.

Die große Zahl der Vorschläge zur Verbesserung der epineuralen Nahttechnik und der Methoden,die ganz neue Wege bei der Wiederherstellung der Kontinuität des durchtrennten Nerven aufzeigen, beweisen klar,daß dieses Problem noch lange nicht zur Zufriedenheit (30 - 40 % Mißerfolge:SEDDON;KRENKEL) gelöst ist.
Eine sehr wichtige Maßnahme,die die Regeneration erleichtern kann besteht in der exakten Adaption der Stümpfe.

1) Mikrochirurgie

Eine exakte Adaption der Nervenenden kann durch Einführung des Operationsmikroskops erreicht werden (SCHARIZER;LOEW;MILLESI; SMITH).Während die Operationslupe nur zweifache Vergrößerung gewährt und durch ihren geringen Arbeitsabstand eher behindert, stellt das Operationsmikroskop eine echte technische Verbesserung dar.Die für die Durchführung der Nervennaht zweckmäßigste Einstellung des Mikroskops,das eine bis 40-fache Vergrößerung erlaubt, liegt bei der 10-fachen Vergrößerung.Infolge der sich negativ auswirkenden geringen Tiefenschärfe muß die exakte Zusammenarbeit zwischen Operateur und Assistent gut geübt sein.Ideal ist die Verwendung eines doppelten binokularen Mikroskops,das Operateur und Assistent gleichzeitige Beobachtung erlaubt.Die Vorteile der mikrochirurgischen Operationstechnik liegen darin,daß erstens die perineurale Nervennaht durchgeführt und zweitens bei der Resektion der Nervenendigungen der histologische Zustand besser überprüft,eine ebene Schnittfläche hergestellt und die exakte Adaption erreicht werden kann.
Im Gegensatz zu BRAUN,der an Hand eigener histologischer Studien bestreitet,daß die Mikrochirurgie ein geordneteres Fasernbild erzeugen könne,zeigen SMITH;MILLESI,GANGLBERGER und BERGER im Tierexperiment,daß unter Anwendung der mikrochirurgischen Methode die Regenerationszeit verkürzt und die aktive Beweglichkeit besser wird als bei Nervennaht mit "unbewaffnetem Auge".

2)Wie wichtig es ist,auf die Besserung der intraneuralen Topographie (= exakt glatte Schnittflächen)zu achten,hat EDSHAGE gezeigt.Er führt epineurale Nervennähte in der herkömmlichen

Technik an menschlichen Extremitäten 3 Tage vor deren Amputation durch.Das Ergebnis zeigte,daß die Mehrzahl der Faszikel nach seitwärts geschoben oder gar nach rückwärts gebogen war.Ursache hierfür,so folgerte er,ist der sehr schlechte Endkontakt an der Berührungslinie der Schnittflächen.Eine nach außen gut aussehende Nervennaht garantiert nicht unbedingt eine gute intraneurale Topographie.Anschließend untersuchte er die Schnittflächen nach Resektion mit Messer,Rasierklinge und Schere.Die mit Messer und Rasierklinge erzeugten Schnittflächen zeigten große Niveauunterschiede zwischen den einzelnen Faszikeln;außerdem wichen sie von der Senkrechten zur Nervenlängsachse ab.(Eine senkrechte Schnittfläche ist notwendig,um sicher zu sein,daß zur Zeit der Nervennaht alle Fasern innerhalb der epineuralen Scheide liegen.)
Um dies zu vermeiden,konstruierte EDSHAGE einen Halteapparat für das Anfrischen der Nervenstümpfe,der glatte und senkrecht zur Längsachse laufende Schnittflächen ermöglicht.
GABRIELSSON und STENSTRÖM modifizierten dieses Instrument,so daß es schneller einsatzfähig ist.Auch A. WILHELM konstruierte einen derartigen Halteapparat.
Um beim Anfrischen glatte Schnittflächen zu erreichen,werden neben diesen Haltevorrichtungen auch andere Methoden empfohlen.
GOSSET und MICHON und CLARK schlagen vor,das jeweilige Nervenendstück vor dem Durchschneiden mit der Rasierklinge in einen Papierstreifen zu rollen,der von einer rechtwinkelig gebogenen Moskitoklemme festgehalten wird,so daß der Nerv dem zirkulär angebrachten Papierstreifen nicht entgleiten kann.
GABRIELSSON und STENSTRÖM ummanteln den Nerv mit Surgicel,einem resorbierbaren Hämostypticum, und resezieren mit der Rasierklinge in dem von ihnen empfohlenen Halter.Die mit Surgicel stabilisierten,gut adaptierbaren Enden werden mit 4 Nähten - etwa 3 - 4 mm von den Nervenenden entfernt - ,die Surgicel und Epineurium fassen,zusammengehalten.Danach wird die Nahtstelle noch mit zwei weiteren Lagen Surgicel umscheidet.
WILHELM A. und TUBIANA betten den Nerv zur Stabilisierung in Wachs ein,um glatte Schnittflächen zu erhalten.

Schließlich machten EDSHAGE und NIEBAUER den Versuch,eine Verbesserung der Schnittfläche nach Einfrieren der Nervenenden zu erreichen.Es stellte sich jedoch heraus,daß erst bei - 9 Grad C eine ausreichende Stabilität für eine senkrechte Schnittführung gegeben ist und daß das Einfrieren zu schweren Narbenbildungen im Endoneurium führt.

3) Auf die Wichtigkeit einer genügend weit reichenden Resektion wiesen MACKENZIE und WOODS hin.Sie stellten bei Patienten mit Mißerfolgen nach Nervennaht fest,daß die Endstücke,vornehmlich der periphere Stumpf,von gliomatösem Gewebe durchsetzt waren oder eine beträchtliche endoneurale Kollagenisierung aufwiesen.Diese endoneurale Fibrose,die oft weit reichen kann,ist unvereinbar mit guten klinischen Ergebnissen.Deshalb muß gefordert werden, die Nervenenden solange zu resezieren,bis die Schnittflächen unter dem Operationsmikroskop als einwandfrei beurteilt werden können.Dabei kann der Grad der endoneuralen Fibrose,speziell am peripheren Stumpf,über kurze Strecken beträchtlich abnehmen.Entsteht dabei eine so große Diastase,daß eine spannungslose Nervennaht nicht möglich ist,soll eine Nerventransplantation durchgeführt werden.
Die oben erwähnten Autoren fordern sogar die histologische Kontrolle im Gefrierschnitt.

Der wichtigste,die Regeneration behindernde Faktor ist die Bindegewebsproliferation im Rahmen des Vernarbungsprozesses. KOSIC spricht von der primären Narbe - im Gegensatz zu sekundären Narbe des gesamten Verletzungsgebietes -,der besondere Aufmerksamkeit zukommen muß.Sie entwickelt sich sofort mit Beginn der Heilung aus bindegewebigen Anteilen des Nerven selbst,also aus Endo- und Perineurium,hauptsächlich aber aus dem Epineurium. Diese Vernarbung ist einerseits notwendig,weil sie den ersten Zusammenhang zwischen den Stümpfen überhaupt herstellt,zum anderen aber bildet sie ein massives Hindernis für das Vorwachsen der Achsenzylinder in die Peripherie.Darum ist es entscheidend,diese Bindegewebsproliferation in Grenzen zu halten oder sie zu umgehen.

1) Gewebeschonendes Operieren ist in dieser Hinsicht oberstes Gebot.
Da Art und Menge des verwendeten Nahtmaterials den Grad der Bindegewebsproliferation beeinflussen,soll erstens so wenig wie möglich und zweitens ein besonders gewebefreundliches Nahtmaterial verwendet werden (MILLESI;MAROS und LAZAR).
Nach EDSHAGE verursacht rostfreier Stahldraht die weitaus günstigste Reaktion bei der Epineuralnaht;Seide und menschliches Haar zeigen die gleichen Reaktionen;sie fielen nicht so negativ aus,um diese Materialien ablehnen zu müssen.Hingegen ließen die frühen Reaktionen auf Catgut dieses Material unerwünscht erscheinen.Nach EDSHAGE sind diese Reaktionen aber von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zur intraneuralen Topographie.
In jüngster Zeit werden monophiles Nylon 9,0,vergoldeter Molybdändraht von 24 Stärke,Tantaldraht 7,0 mit atraumatischer Nadel (SCHARIZER) oder Seide 6,0;7,0 (BUNNELL:schwarze Seide,eingefettet) empfohlen;STRELI empfiehlt Supramid extrafein (0,09 bis 0,1 mm).

2) In den letzten 10 Jahren unternahm man große Anstrengungen, die Nervennaht durch die Anwendung von Klebstoffen ganz zu meiden (FREEMAN;PERL und WAGNER;HEISS und FAUL).
HEISS und FAUL verwendeten bei ihren Tierversuchen (Ratten) den aus n-Butyl-2-cyanoacrylat bestehenden Wundkleber Ingelheim, CHBS 64.Dabei wird der Klebstoff von außen auf die gut adaptierten Nervenstümpfe aufgetragen,wobei besonders darauf zu achten ist,daß der Klebstoff nicht zwischen die zu vereinigenden Gewebsschichten eindringt.Die Methode ist rasch,einfach und ohne Traumatisierung durchführbar.Die sich ergebenden histologischen und elektrophysiologischen Ergebnisse waren recht ermutigend.
Weniger optimistisch fielen die Untersuchungen aus,die kurz darauf angestellt wurden und deren Ergebnisse die derzeitige Zurückhaltung begründen.Schon PERL und WAGNER stellten in vergleichenden Untersuchungen fest,daß die Seidennaht der nahtlosen Monomer-Reparatur funktionell und im histologischen Bild überlegen ist.
BRAUN beobachtete beim Gebrauch von Alkyl-2-Cyanoacrylat heftige Gewebsreaktionen und den Einschluß von Klebstoff zwischen den Nervenenden,was für die aussprossenden Axone eine unüberwindliche Barriere darstellt.

Weiterhin konnte gezeigt werden (BERGER,GANGLBERGER,MILLESI; BERGER,MILLESI),daß zwar anfanglich (bis zum 40. Tag) gute Regenerationsergebnisse erzielt werden,daß aber dann im Laufe der Zeit - offenbar auf Grund der Narbenbildung um die Klebstoffdepots - ein Verlust der schon vorhandenen Funktion beobachtet wird.Auch eine andere Technik,bei der der Klebstoff weit von der Durchtrennungsstelle zwischen einen Kunststofftubus und das Epineurium zu liegen kommt,zeigte sich der mikrochirurgischen Naht unterlegen (MILLESI und BERGER).

ZEUMER und HEIDEL wiesen auf die für die Regeneration peripherer Nerven zu hohe Toxizität hin (Methyl-2-cyanoacrylat),wodurch es im Laufe des Abbaus des Acrylklebers zu einer entzündlichen Reaktion und zur Bindegewebseinsprossung kommt.

Die direkte toxische Schädigung der Nervenenden durch den Acrylkleber ist nicht geklärt.FREEMAN konnte nachweisen,daß der auf ein intaktes Epineurium gebrachte Klebstoff nicht zu einer Schädigung des Nerven führt.

Das Problem dürfte heute weniger in der Toxizität des Klebers als vielmehr in der Technik der Anwendung liegen (KOTTER,MÜLLER, LINDEMANN).Sie fordern einen Kleber mit größerer Viskosität und die Entwicklung einer Methode zur exakten Adaption,denn nur die Tiere zeigten ein schlechtes funktionelles Ergebnis (4 von 12), bei denen später histologisch wesentlich mehr Kunststoff zwischen den Nervenenden festgestellt wurde.

BRAUN-MELSUNGEN entwickelte das Präparat weiter unter dem Namen Histoacryl N und L blau.Von der chemischen Struktur her handelt es sich um ein monomeres Butyl-2-cyanoacrylat.Der Klebeeffekt beruht auf der Polymerisation des flüssigen Monomeren,die durch den Kontakt mit der Feuchtigkeit des Gewebes ausgelöst wird (Polymerisationszeit 10 - 20 Sek.).Der Kleber zeigt gute Gewebeverträglichkeit und ausreichende mechanische Festigkeit,er wird resorbiert und wirkt nicht karzinogen.

MIEHLKE berichtet über gute Erfahrungen mit Histoacryl bei der Anastomosierung des äußerst dünnen nervus recurrens.

3) Bei der Umscheidung werden die durch exakte Naht adaptierten Nervenenden mit den verschiedensten Geweben oder Stoffen einmanschettiert.Diese Umscheidungsversuche hatten alle dieselben Ziele,zuerst das Einwachsen von extraneuralem Bindegewebe in die Nervenanastomose zu verhindern,außerdem axonales Abweichen zu vereiteln und zu geordnetem,parallelem Wiedereinwachsen anzuregen.

Seit nunmehr 100 Jahren werden Umscheidungsmaterialien vorgeschlagen,die fast alle experimentell gute Ergebnisse brachten, denen aber nach anfänglichen klinischen Versuchen die breite klinische Anwendung versagt blieb.

Einige dieser Materialien sind:Peritoneum,Neuromgewebe,Epineurium,Muskellappen,Faszie,Epidermis,Fettgewebe,Venen,Arterien, Pergament,Tantalum,Gold,Surgicel,3M Band und eine Reihe von Kunststoffen.Alle diese Materialien zeigten erhebliche Nachteile: Jedes organische Hüllenmaterial wird umgewandelt und schrumpft. Schrumpfung aber bedeutet Konstriktion und Schädigung des Nerven. Andere Umscheidungsmaterialien,besonders die Kunststoffe,sind alle relativ unelastisch und führen zu einer Kompressionsfibrose des umscheideten Nerven oder sie wirken als Fremdkörper und stimulieren die extraneurale Narbenbildung,was den Nerv weiter behindert.

Das populärste Umscheidungsmaterial der letzten 10 Jahre war der von BASSETT,CAMPBELL und Mitarbeiter in die Nervenchirurgie eingeführte monomolekulare Cellulosefilter Millipore.

Gegenüber allen anderen zur Tubulisierung verwendeten Materialien zeigte Millipore große Vorteile:bemerkenswert reaktionslos, hohe Durchströmungsrate für ausreichenden Stoffwechsel (65 ml/qcm pro Stunde) und Zellundurchlässigkeit für Fibroblasten (Porengröße 0,45μ).Die Umscheidung erfolgte mit fertigen Röhrchen unterschiedlichen Kalibers,oder durch Umwickeln;in beiden Fällen Fixierung durch zirkuläre Naht.BÖHLER J. und SCHAAF berichteten über gute Ergebnisse dieser Methode.Man sprach von einer auffallenden Verkürzung der Regenerationszeit und Steigerung des Grades der Resensibilisierung.Die weitere Entwicklung konnte die hohen Erwartungen,die man in diese Methode setzte,nicht erfüllen. Die Nachteile überwogen.So mußte die Extremität für lange Zeit

(6 Wochen) im Gipsverband absolut ruhig fixiert werden,da ansonsten Knickungen in der im Feuchten sehr reißempfindlichen Membran auftraten und es an diesen Rißstellen außer der mechanischen Schädigung des Nervs auch zu starken Fibroblastenpenetrationen kam.Da Kalkablagerungen in der Filtermembran beobachtet wurden und dadurch die Ernährung des Nervs behindert war, mußte die Membran in einer Zweitoperation nach Abnahme des ruhigstellenden Verbandes entfernt werden.
SCHINK,SCHMIDT-MENDE und VITTALI wiesen im Tierversuch darauf hin,daß die Vaskularisation des Nervengewebes durch die Milliporemembran behindert werde und auch diese Methode die Nervenanastomose nicht von Bindegewebswucherungen aus dem Epi- und Perineurium fernhalten könne.CAMPBELL distanzierte sich 1966 von der Methode der Milliporeumscheidung.
In den darauffolgenden Jahren wurden als Hüllenmaterial die Anwendung von Kollagenfilm (BRAUN) und Silastic,einer ultradünnen Scheide aus siliconisiertem Gummi (MIDGLEY und WOOLHOUSE; DUCKER und HAYES) empfohlen.Letztere zeigten,daß die besten Erfolge erreicht werden mit dünnen Silastic-Röhrchen von einem Kaliber,das 2,5 - 3 mal so groß ist wie der Nervendurchmesser, sowie einer Länge,mit der die Enden genügend bedeckt sind. Silastic kann ohne abnorme Reaktionen 3 Jahre gut vertragen werden.
Besonders dünne Nerven im Handbereich,deren Naht zu Einschnürungen führt,sollten nach der von YOUNG und MEDAWAR sowie TARLOW und Mitarbeiter entwickelten Technik der Plasmanaht in der Modifikation nach CONLEY vereinigt werden (LOEW).
Nach feiner exakter Adaption der Nervenenden,wird ein gefensterter Schlauch aus Silikonkautschuk über die Nahtstelle geschoben (Durchmesser dreimal so groß wie der des Nervs).Durch das Fenster wird frisch aus dem Blut des Patienten gewonnenes Plasma getropft;dieses gerinnt sofort und fixiert die Nervenenden.Fibrin und Vollblut haben sich nicht so gut bewährt.
SIBAL und OHRI konnten im Tierversuch zeigen,daß bei der Plasmanaht eine geringere Bindegewebsproliferation und ein geordneteres Wachstum erfolgt als bei der Seidennaht.

Nach CAMPBELL und Mitarbeiter ist diese Nahttechnik den Versuche mit Umscheidung vorzuziehen,da eine Zweitoperation zur Entfernung der Fremdsubstanz nicht notwendig ist.
Als neuestes und sehr erfolgversprechendes Material zur Umscheidung einer Nervennaht oder eines lyophilisierten Nerventransplantates hat sich die Verwendung von lyophilisierter Dura erwiesen.
Dieses Material ist der Neurochirurgie entnommen und dient hauptsächlich zum Ersatz von Duraschäden am Schädel und Rückenmark.
Als erster hat SEWELL 1954 lyophilisierte Dura angewandt.
Es handelt sich dabei um homoioplastische Dura,die wenige Stunden nach dem Tode entnommen wird.Der Aufbau der Dura zeigt ein verhältnismäßig zellarmes,sehr faserreiches kollagenes Gewebe.
Durch spezielle Bearbeitungsverfahren wird erreicht,daß sie von antigenen und pyrogenen Substanzen und nichtkollagenem Eiweiß gereinigt wird.Anschließend wird die so präparierte Dura der Lyophilisierung (Gefriertrocknung) unterworfen,wodurch die lockere Gewebsstruktur erhalten bleibt.Sterilisiert wird sie mit 2,5 Mrad Gammastrahlen bzw. Äthylen-Oxydgas.
Da lyophilisierte Dura früher nur in pathologischen Instituten hergestellt werden konnte,war die Anwendung örtlich begrenzt. Seitdem eine große chemische Firma ihre Herstellung in das Programm aufgenommen hat,und da dieses Präparat unbegrenzt haltbar ist,ist die Möglichkeit gegeben,es zu jeder Zeit verfügbar zu haben.
Vor der Implantation muß die gefriergetrocknete,harte Dura rehydratisiert werden,am besten in steriler physiologischer Kochsalzlösung.Das benötigte StückDura wird zuvor in Größe und Form zurechtgeschnitten.Beim Tubusquerschnitt sollten die oben von DUCKER und HAYES für Silastic-Röhrchen gemachten Angaben berücksichtigt werden (JACOBY,FAHLBUSCH,MACKERT,BRAUN,ROLLE, SCHNELL).Auf Grund seiner Gewebsstruktur besitzt lyophilisierte Dura große Festigkeit,ist gut nähbar und klebbar.Eine Revitalisierung bzw. Revaskularisierung wird nicht beobachtet (JACOBY und MARGUTH).Lyophilisierte Dura wird reizlos in das Gewebe eingebaut und neigt nicht zu Verwachsungen mit der Oberfläche des

Nervs.Bei keinem der von JACOBY und MARGUTH beobachteten Fälle kam es zu einer Infektion der Wunde oder einem sekundären Heilverlauf.

4) Die histologischen Befunde der Umscheidungsmethoden mit Kunststoffmembranen,besonders die Arbeit von SCHINK,SCHMIDT-MENDE und VITALLI machten deutlich,daß der Großteil des die Regeneration behindernden bindegewebigen Granulationsgewebes seinen Ursprung im Epineurium hat.Falls die fibroblastische Reaktion verhindert werden kann,kann auch eine größere funktionelle Wiederherstellung erwartet werden (KOSIC,BORA).
KOSIC konzentrierte sich dabei auf den Gedanken,durch ein Pharmakon,ein Cytostaticum,die Proliferation der Fibroblasten zu hemmen,wobei gleichzeitig das axonale Wachstum nicht beeinträchtigt werden darf.Colchicin bewährte sich experimentell am besten.Es wird direkt in das von den Nervenstümpfen zurückgeschobene Epineurium mit feinsten Kanülen und unter größter Vorsicht injeziert.Diese Methode dient schließlich der später erwähnten Operationsmethode nach KOSIC zur Unterstützung.

5) Mit einer neuen Nahttechnik,der perineuralen Naht,versuchten MICHON und BORA die epineurale,bindegewebige Wucherung zu umgehen.
Unter dem Operationsmikroskop werden die einzelnen Faszikel durch Naht aneinander geheftet.Ist der resezierte Defizit nicht zu groß,kann man sich nach Größe und Gruppierung der Faszikel in den Nervenstümpfen orientieren.Nach Resektion des Epineuriums für ein Stück werden einige Kabelgruppen durchlockere perineurale Naht mit den korrespondierenden Kabelgruppen im distalen Abschnitt adaptiert.Im Ganzen sollen nicht mehr als 2 - 3 perineurale Nähte gesetzt werden.Dabei ist äußerste Vorsicht geboten,da durch zu tiefes Einstechen Faszikelsubstanz verletzt werden kann,was über eine entzündliche Reaktion und Fibrose zu einer Schädigung des Nervs führt.Zuletzt decken epineurale Nähte die Nahtstelle.
SNYDER,WEBSTER,PICKENS,HINES und WARDEN empfehlen die intraneurale Naht von Nervenbündeln ohne zusätzliche Naht des Epineuriums.

Die Vorteile der perineuralen Nahttechnik liegen in der Verringerung der Fremdkörperreaktion,einer guten Adaption der Faszikel;außerdem fanden sich in der Nervenanastomose keine Blutergüsse und Granulome.

6) Bei der Tubulisation wird auf die unmittelbare Adaption der Stümpfe durch Nervennaht verzichtet,vielmehr werden die Nervenenden spannungslos und druckfrei durch ein Röhrchen miteinander verbunden,in dem die Axone zum peripheren Stumpf vordringen sollen.Geordnetes Wachstum der Axone,keine Reaktion auf das Nahtmaterial,keine einschnürenden Verwachsungen aufgrund der Traumatisierung durch die Nervennaht und Verhindern der Fibroblasteninfiltration aus der Umgebung sind die theoretischen Vorteile dieser Methode.
Von historischem Interesse ist die Aufzählung der benützten Materialien (NIGST):entmarkte Knochenröhren,Gefäßwandungen, Gelantineröhrchen,Kalbsarterien,Gummiröhrchen,Galalitröhrchen, Trachea,Kasein-,Tantalum- und Plexiglasröhrchen,Faszienmanschette Um das Vorwachsen zu fördern,füllte man diese Röhrchen mit "Gleitseilen":Catgut,Seidefäden,Agar,Serum oder Blut.
Die Reaktion auf den Fremdkörper oder die Schrumpfungstendenz der Autotransplantate vereitelten zumeist eine erfolgreiche Regeneration,und wurde von Erfolgen gesprochen,so verschwanden sie in der riesigen Zahl der Mißerfolge.
In den letzten Jahrzehnten wurden einige Methoden dieser Nervenvereinigung ohne Naht entwickelt,deren Anwendung nützlich und erfolgversprechend erscheint.
KOSIC beschreibt eine sehr komplizierte und aufwendige Operationsmethode,die im Tierversuch eine wesentlich raschere Refunktionzeit erzielte.Die angefrischten Nervenenden,deren Epineurium von der Schnittfläche her genügend weit abpräpariert und mit Colchicin versetzt wurde,werden nahtlos und spannungsfrei mittels halber Venen als Schienenmaterial (vena iugularis) aneinandergelegt.Die Venen werden mit den Epineuralwülsten vernäht.Die Nahtstellen,die freie Stelle zwischen den Schnittflächen und das ganze Operationsgebiet am Nerven werden schließlich mit einer Fettplombe aus zerlassenem körpereigenem Fett (Netz) gegen die Umgebung geschützt.

BRAUN,der beim Vergleich der verschiedenen Nervenvereinigungstechniken beim Tubulisationsverfahren die besten Regenerationsmuster erreichte,bringt noch folgende interessante Beobachtung: Nach spannungsloser Adaption ist es erlaubt,die Nervenenden etwas auseinanderzuziehen,da WEISS gezeigt hat,daß infolge des Zuges eine Längsorientierung des hämolysierten Blutes,des Fibrins oder Gels resultiert.Diese Brücken benützen die auswachsenden Nervenfasern als Gleitstrukturen.

7) Last not least soll noch auf das Problem der spannungsfreien Naht eingegangen werden.Daß das Ausmaß der Spannung den Grad der bindegewebigen Reaktion beeinflußt,wird allgemein in der Literatur anerkannt.Gefahren bei zu großer Zugwirkung auf die Nahtstelle sind Durchblutungsstörung,Narbenhypertrophie,Narbendehnung und schließlich Dehiszenz (MACKENZIE und WOODS; MILLESI).
Seit Jahrrzehnten wird daher die spannungslose Naht des Nervs gefordert.Doch ist dies in der Theorie leichter gesagt als in der Praxis durchgeführt.
Verursacht wird die Spannung durch ein für eine spannungslose Nervennaht zu großes Defizit an gesundem Nervengewebe,das seinen Grund in der Retraktion der Nervenstümpfe,besonders bei Sekundärnaht,in umfangreicher Traumatisierung (Quetschung) und in dem Verlust der Nervensubstanz bei der Resektion der fibrösen Endstücke hat.
Welche Maßnahmen wurden oder werden noch teilweise angewandt, um bei beträchtlichem Defizit eine spannungsfreie Nervennaht durchführen zu können.
a) Durch die Entspannungsstellung der benachbarten Gelenke lassen sich nach MAURER bei den Armnerven Distanzen von 5 - 7 cm überwinden.Doch das bedeutet Ruhigstellung für 3 - 6 Wochen und danach abgestufte Freigabe der Bewegung,um eine Dehiszenz zu vermeiden und eine langsame und schonende Dehnung des Nervs zu erreichen.Doch dies führt meist zu einer Schädigung des Nervs, da jetzt die Nahtstelle unter verstärkter Zugspannung steht.
Betrachtet man die Ergebnisse der Langzeituntersuchungen von NICHOLSON und SEDDON,so fällt auf,daß die Resultate wesentlich schlechter werden,wenn die Nervennaht bei Defekten von mehr als 2,5 cm durchgeführt wurde.

b) Mobilsierung der proximalen und distalen Nervenstümpfe bringt nur unerhebliche Erleichterung.Dabei ist auf die Blutversorgung und die Abgangsäste zu achten.
c) Die Transposition hat hauptsächlich beim nervus ulnaris Bedeutung erlangt;für den nervus medianus ist der Gewinn unerheblich.Durch Verlagerung des nervus ulnaris auf die Volarseite der Ellenbeuge können Distanzen von 6 - 8 cm gewonnen werden.
d) Knochenverkürzungen (historisches Interesse)

Durch Kombination von Entspannungsstellung,Mobilisation und Transposition können nach BABCOCK folgende Längen erzielt werden:

	Oberarm (cm)	Vorderarm (cm)
n. radialis	15	10,5
n. ulnaris	16	12,5
n. medianus	15	23

SEDDON hält sich an die sogenannte kritische Resektionslänge eines Nervs,deren Überschreitung einen Erfolg fraglich macht. Sie variiert mit der Höhe der Läsionsstelle.

	hoch (cm)	mittel (cm)	tief (cm)
n. radialis	8	8	7,5
n. ulnaris	10	13	10
n. medianus	7	9	7,5

Da alle diese Methoden aus einer Zeit stammen,in der das Problem einer befriedigenden Defektüberbrückung durch Nerventransplantate nicht gelöst war,hat man heute diese Verfahren zugunsten der Nerventransplantation verlassen.

Nerventransplantation

Da ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Fibrose innerhalb der Nervenanastomose und der an der Nahtstelle herrschenden Spannung ist,muß ein Defekt,der trotz der erwähnten Hilfsmaßnahmen eine spannungslose Naht nicht zuläßt,durch Nerventransplantat überbrückt werden.SCHARIZER ermutigt dazu,auch bei relativ kurzen Defekten (bis 4 cm) häufiger eine Nervenverpflanzung vorzunehmen.

Versuche der ersten Nervenverpflanzungen gehen bis ins vorige Jahrhundert zurück.FOERSTER transplantierte im 1. Weltkrieg erfolgreich körpereigene Nerven;BUNNELL und BOYES,sowie SEDDON und seine Schüler setzten die Nerventransplantation in größerem Umfang ein.

Trotz aller Bemühungen blieben die Ergebnisse denen der einfachen Nervennaht unterlegen.Das mag daran liegen,daß die Axone zwei Nahtstellen zu überwinden haben und die Nerventransplantation nur dann angewandt wurde,wenn alle anderen Maßnahmen versagten. Tierexperimentell konnte gezeigt werden,daß die zwei Nahtstellen sich weniger nachteilig auf die Regeneration auswirken als eine Naht unter Spannung (MILLESI).

Bei den Materialien muß zwischen Eigen- (Auto-) und Fremd- (Homo-) transplantat unterschieden werden.

I. Eigentransplantate

Die besten Ergebnisse brachten bis vor kurzem die Autotrans- transplantate,das heißt Defektüberbrückung mit körpereigenen Nervenstücken.Der Vorteil dieser Methode liegt im Fehlen einer Fremdkörperreaktion,nachteilig wirkt sich aus,daß die Spendernerven zumeist dünner sind als der defekte Nerv und zuvor zu einem Kabel gebündelt werden müssen und daß durch die Entnahme des sensiblen Nervs die Versorgung dieses Bereiches ausfällt. Verwendet werden ausschließlich Hautnerven (BIELSCHOWSKY und UNGER),die gut erreichbar sind und deren Ausfall nicht wesentlich behindert: n. cutaneus antebrachii ulnaris (günstigster Spender,da fast 20 cm gewonnen werden können und er den stärksten mittleren Durchmesser aller verwendbarer Hautnerven hat, nämlich 2,5 mm);n. suralis;n. cutaneus femoralis lateralis; seltener der n. cutaneus antebrachii radialis,der n. saphenus

und die Interkostalnerven.
Nur bei relativ dünnen Nerven gelingt die autoplastische Nerventransplantation zur Überbrückung kurzer Defekte erfolgreich (SCHINK,SCHMIDT-MENDE,VITTALI).
Für die Überbrückung dickerer Nerven wurden zwei Methoden entwickelt:
1) Bei dickeren Nerven müssen je nach dem benötigten Querschnitt des lädierten Nervs zwei oder mehr Stränge zu einem kompakten Kabel gebündelt werden.Dabei werden sie durch Naht untereinander verbunden.Das Kabel wird dann wie ein dicker Nervenstamm behandelt und durch epineurale Naht an den proximalen und distalen Nervenstumpf adaptiert.
Auf die gleiche Weise wird die Nervennaht bei Durchtrennung an einer Bifurkationsstelle (Handfläche) durchgeführt.
Dabei muß unbedingt auf die starke Schrumpfungstendenz des Implantates geachtet werden.Deshalb sollte das Transplantat etwa 20 -25 % länger sein als die zu überbrückende Lücke (PETROV und SOLAROV) und in einem weichen und gut vaskularisierten Kanal zu liegen kommen.
2) Da das Epineurium die Hauptquelle der Bindegewebsproliferation ist und durch epineurale Naht eine optimale Adaption nicht erreicht werden kann,wird empfohlen,die einzelnen Transplantate mit perineuraler Naht zu fixieren (MILLESI;SCHARIZER).
Nachdem das Epineurium von den Enden des lädierten Nervs reseziert worden ist,werden die Querschnitte in mehrere Faszikelgruppen zerlegt,zwischen die jeweils ein Transplantat eingefügt wird.Die Naht erfolgt absolut spannungslos.Die einzelnen Transplantate liegen unabhängig nebeneinander.
Zur Verbesserung der Ergebnisse weisen verschiedene Autoren (SCHINK,SCHMIDT-MENDE,VITALLI;SCHARIZER;MUMENTHALER) auf die Nützlichkeit der Umscheidung solcher Transplantate mit Millipore oder Plasma hin,um das Auswachsen der Axone und das Eindringen extraneuralen Bindegewebes zu verhindern.
Ist ein Nerv nur teilweise durchtrennt,wird nach Freilegung der noch intakten Faszikel zur Überbrückung der unterbrochenen Faserbündel dieselbe Methode verwendet.
Bei langen Transplantaten ist es notwendig,bei Ausbleiben der Regenerationserscheinungen die distale Nahtstelle des Trans-

plantates zu revidieren,da sich in manchen Fällen hier derbes Narbengewebe bildet,das das Weiterwachsen der Axone verhindert (MILLESI).Bei der epineuralen Nahttechnik mit Kabeltransplantat scheint dies weitaus häufiger vorzukommen als bei Anwendung der perineuralen Naht (MILLESI).
Obwohl die funktionellen Ergebnisse in vielen Fällen befriedigend waren,blieben sie doch denen der einfachen Nervennaht unterlegen (PETROV und SOLANOV;NICHOLSON und SEDDON;SEDDON). Dies wird auf die Schwierigkeiten bei der Kabelbildung und der epineuralen Naht zurückgeführt.MILLESI erzielte mit der interfaszikulären Nerventransplantation sehr befriedigende Ergebnisse,auch unter schlechten Bedingungen,wie z.B. Länge des Defektes: 2 - 20 cm.
Die Anwendung der von STRANGE 1947 empfohlenen Methode der gestielten Nerventransplantation,bei der ein ausgedehnter Defekt des n. medianus auf Kosten des n. ulnaris wieder funktionstüchtig gemacht werden soll,ist durch die Fortschritte mit Homotransplantaten heute nicht mehr gerechtfertigt.Dasselbe gilt für die Methode,bei der durch Längsspaltung des distalen Endes des proximalen Nervenstumpfes und Verwendung dieses "Halbkabels" als Autotransplantat ein Defekt überbrückt werden soll.

II. Fremdtransplantate

Bis in jüngste Zeit führten sie regelmäßig zu Mißerfolgen,da die Transplantationen mit körperfremden Nerven eine starke Gewebsreaktion auslösten und abgestoßen wurden.
Im Gegensatz zu Organverpflanzungen muß ein Nerventransplantat nicht die Funktion des untüchtigen Organs übernehmen,sondern braucht nur als Leitschiene für die aussprossenden Axone dienen und daher auch nur für beschränkte Zeit reaktionslos sein (WILLENEGGER,LIESTAL).Sobald die Axone das Transplantat passiert haben,kann es umgebaut werden (LOEW).
In den vergangenen 15 Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen angestellt mit dem Ziel,die immunologische Reaktion homologer Transplantate durch Bestrahlung,konservierende Vorbehandlung oder andere Methoden abzuschwächen.

NIGST konnte durch Applikation von Cortison die Zeit bis zur bindegewebigen Umwandlung des Transplantates im Tierversuch verlängern.Die fibröse Umwandlung des Transplantates aber ließ sich nicht verhindern.
CAMPBELL und Mitarbeiter versuchten durch die Umscheidung mit Millipore die zelligen Abwehrmechanismen von den Homotransplantaten fernzuhalten,so daß es vor dem narbigen Ersatz zum Vorwachsen der Axone kommen kann.BÜHLER und SCHAAF berichteten über sehr günstige Ergebnisse bei der Anwendung der Milliporeumscheidung kältegetrockneter und lyophilisierter Nerventransplantate.Doch nachdem SCHINK,SCHMIDT-MENDE und VITTALI auf die Nachteile dieser Methode verwiesen hatten,wurde sie wieder verlassen.
IKEDA transplantierte unmittelbar postmortal entnommene Nerven, die zunächst mit Super-Elektronen-Bestrahlung vorbehandelt und anschließend bei -25 bis -30 Grad tiefgefroren wurden.Zur Verbesserung des Resultates wurde das Homotransplantat in ein nach demselben Verfahren behandeltes Arterienstück eingehüllt.
GOLOVANOV,PAVLOVA,OSINA und KOSKIN benützten tiefgekühlte Homotransplantate,die nicht später als 12 Stunden nach dem Tode entnommen (analoge Extremitätennerven) und bei -70 Grad eingefroren werden.Nach 2 Tagen wurden sie auf -30 Grad gebracht und bis zur Anwendung auf dieser Temperatur gehalten.Man bewahrte sie in physiologischer Kochsalzlösung mit Zusatz von Penicillin auf.Sowohl IKEDA wie auch GOLOVANOV et al. berichteten über gute bis zufriedenstellende Funktionswiederkehr.
PERL unternahm den Versuch, ß-Strahler lokal anzuwenden.Im Falle der Homotransplantate zeigte sich eine auffallend gute funktionelle Wiederherstellung bei intranervaler Injektion der Aktivität,was auf die immunsuppressive Wirkung der fortlaufenden ß-Bestrahlung zurückzuführen ist.
MARMOR und Mitarbeiter versuchten die immunologische Reaktion in zweifacher Hinsicht zu unterdrücken.Sie denaturierten durch Bestrahlung des Spendernerven (2 Mill. rep) das körperfremde Eiweiß und gaben zur Unterstützung Imuran,ein immunsuppressives Medikament.Über eine größere Anwendung beim Menschen ist nichts bekannt.
In einer vergleichenden Untersuchung (SEIFFERT,SCHINDLER,THOMAS, SCHRÖDER,HUFSCHMIDT),die auf den Zusammenhang von konservierender Vorbehandlung des Homotransplantates und Neurotisation des peripheren Nervenabschnittes verweist,zeigen neben den autologen die cialitkonservierten Transplantate im allgemeinen die günstigsten funktionellen Ergebnisse und dem autologen Transplantat durchaus gleichstehende Regenerationsmuster im Vergleich zum tiefgekühlten oder frischen homologen Nerven.

Einen weiteren großen Fortschritt in dem Bemühen,ein reaktionslos einwachsendes Homotransplantat zu finden,brachte die Forschergruppe JACOBY,FAHLBUSCH,MACKERT,BRAUN,ROLLE,SCHNELL.
Durch Zusammenarbeit mit BRAUN-MELSUNGEN wurde ein sehr erfolgversprechendes Konservierungsverfahren entwickelt:
Die Extremitätennerven,die 24 - 48 Stunden nach dem Tod entnommen werden,werden zunächst für mehrere Tage in 0,9 % ige

Kochsalzlösung gelegt.Dies und die Behandlung mit starken Oxydationsmitteln führt zur Desenzymatisierung und Desantigenisierung der Präparate.Nach Spülung mit aqua bidestillata werden sie durch ein bestimmtes Lyophilisierungsverfahren getrocknet und durch Gammabestrahlung (2,5 M rad) sterilisiert. So entsteht ein Kollagengerüst,das - frei von Markscheiden und Neuriten - für die aussprossenden Axone ein ideales Leitgewebe darstellt.Im Gegensatz zu den bisher verwendeten Homotransplantaten ist dieses soweit "gereinigt",daß immunologische Reaktionen nicht mehr zu erwarten sind.
Die in Klarsichtfolie verpackten Transplantate werden von BRAUN-MELSUNGEN hergestellt und können bei Zimmertemperatur ungefähr zwei Jahre gelagert werden.
Vor der Einpflanzung müssen die starren Homotransplantate in steriler physiologischer Kochsalzlösung rehydratisiert werden.Nach Anfrischung des proximalen und distalen Stumpfes wird das lyophilisierte und antigenisierte Homotransplantat durch Epineuralnaht spannungslos interponiert.Als flankierende Maßnahme kann das Transplantat einschließlich der Nahtstellen mit lyophilisierter Dura umscheidet werden.
Die Autoren berichten über zwei Operationen (n. ulnaris und n. medianus) an Menschen.In beiden Fällen erfolgte reaktionslose Einheilung des Transplantates;Länge der Defekte: 4,5 - 5 cm. Der erste Fall zeigte im EMG gute motorische Refunktion und Wiederherstellung der sensiblen Ausfälle (Ninhydrin-Test).
Im zweiten Fall trat die motorische Funktion "praktisch vollständig" wieder ein,auch die Sensibilität zeigte bis auf "diskrete Störungen der ersten drei Finger" sehr gute Restitution.
Ebenfalls über sehr gute Ergebnisse nach homoioplastischer Nerventransplantation mit lyophilisiertem Nerv berichtet WILHELM K.,der bereits ein größeres Krankengut überblicken kann.

Untersuchungstests

Es versetzt den Untersucher nicht selten in Erstaunen,wenn er bei einem Patienten - nach den herkömmlichen Methoden untersucht - zwar gute Ergebnisse findet,aber dann erfährt,daß der Patient in den Grifformen des alltäglichen Lebens doch sehr eingeschränkt ist;so sei es ihm z. B. nicht möglich,die Uhr aufzuziehen,zu nähen oder Münzen zu unterscheiden.
MOBERGs großes Verdienst liegt darin,darauf hingewiesen zu haben, daß die Gefühlsmodalitäten:Berührung,Schmerz,Wärme und Kälte zwar für eine gute funktionelle Sensibilität unerläßlich sind, daß sie aber für die Beurteilung der taktilen Gnose nicht von Nutzen sind.Daher sind die Tests mit Watte,Nadel,heißen und kalten Reagenzgläsern zur Einschätzung des wahren funktionellen Zustandes unbrauchbar.
Um den Grad der Wiederherstellung der hohen Qualität der sensiblen Funktion des Werkzeugs Hand nach erfolgter Nervennaht exakt bestimmen zu können,wurde eine Reihe von Testen entwickelt,nach denen auch unsere Patienten untersucht wurden. Obwohl jeder dieser Tests seine Vor- und Nachteile hat,sind sie dennoch die im Augenblick besten und in der Klinik brauchbarsten.

1) Tests zur Untersuchung der Sensibilität

a) Ninhydrin-Test (NHT)

Es ist bekannt,daß nach Durchtrennung peripherer Nerven die Schweißdrüsen im entsprechenden sensiblen Versorgungsgebiet bereits nach wenigen Minuten ihre Funktion einstellen. Sensibilitätsverlust ist also mit einem Verlust der sudomotorischen Funktion vergesellschaftet (GUTTMANN;ZACHARY und ROAF).MOBERG berichtet,daß sudomotorische Funktion und taktile Gnose nicht nur gemeinsam nach Nervendurchtrennung verloren gehen,sondern daß sie auch im Zuge der Regeneration wieder gemeinsam zurückkehren.Somit kann nach MOBERG die taktile Gnose durch Prüfung der sudomotorischen Funktion im entsprechenden Gebiet mit dem Ninhydrintest demonstriert werden.

Anatomie:

Die im Dienste der Thermoregulation stehenden, ubiquitär verteilten ekkrinen Schweißdrüsen werden ununterbrochen von Fasern des sympathischen Nervensystems gesteuert. Die sudosekretorischen Fasern für den Arm (aus Th 3/4 bis Th 7) folgen, nachdem sie im zuständigen Ganglion des Grenzstranges auf das letzte Neuron umgeschaltet worden sind, in enger Anlehnung an die sensiblen Nervenfasern den Spinalnerven bis zu den in der Kutis gelegenen Schweißdrüsen. Die Übertragung der sudosekretorischen Impulse am Endorgan erfolgt cholinergisch. Schweißausbrüche können also durch die Gabe von Parasympathikomimetika (Prostigmin, Pilocarpin) provoziert werden.
Eine Durchtrennung des peripheren Neuriten führt zu einer Atrophie des die Schweißdrüse umgebenden cholinergischen Nervenendnetzes. Die Schweißsekretion sistiert vollständig, wobei die Ausdehnung des Defektes genau mit den Sensibilitätsstörungen übereinstimmt.
Eine Rückkehr der sudomotorischen Funktion tritt nur nach Nervennaht ein (MOBERG; STROMBERG et al.), und geht mit der Regeneration der Sensibilität zeitlich etwa parallel.
Bei einigen Patienten wird im Regenerationsstadium eine über Monate dauernde Hyperhidrosis beobachtet.

Vorbemerkung:

Schon früher wurden Methoden zur Untersuchung der Schweißsekretionsstörungen entwickelt (GUTTMANN: Quinizarin-Methode; MINOR: Jod-Stärke-Test; Betasten (BUNNEL) oder Besichtigung durch ein Prisma; RICHTER und KATZ: Dermometrie; SIMON und MANN: elektronisches Schweißmeßverfahren;) MOBERG führte den Ninhydrin-Test, dessen Wert für kriminologische Zwecke ODEN und HOFSTEIN erkannten, in die Chirurgie ein. Er beruht auf der Anfärbbarkeit von Aminosäuren (Asparaginsäure, Glutaminsäure, Serin, Thionin, Valin, Methionin u.a.) und niedriger Peptide im Schweiß durch Ninhydrin mit großer Empfindlichkeit (in 1 ccm Schweiß 0,44 mg Aminosäuren).

Durchführung:

Nachdem der Proband sich mit Wasser und Seife gut die Hände gewaschen und anschließend getrocknet hat, drückt er die Finger einzeln nebeneinander oder die Hand als Ganzes auf einen Streifen Schreibmaschinenpapier. Der Finger soll dabei nicht zu fest aufgedrückt werden, damit jeder Schweißdrüsenausgang als einzelner registriert und das Bild nicht verschmiert wird. Die Konturen der Finger werden mit einem Bleistift umfahren und die Abdrücke markiert (D1, D2...; rechts, links; verletzt, nicht verletzt; Name).

Zu Vergleichszwecken werden auch von der unverletzten Hand Fingerabdrücke angefertigt,um keine falschen Schlüsse über den Grad der Regeneration zu ziehen.Wichtig ist,daß der Untersuchende das Papier nicht mit seinen Fingern berührt.Man hält den Streifen am besten mit einer Pinzette fest.Bei unseren Untersuchungen war es nie notwendig,die Schweißsekretion zu provozieren.
Die Streifen werden dann einige Male durch eine 1%ige Ninhydrinlösung in Azeton,der einige Tropfen Eisessigsäure zugesetzt worden sind,gezogen.Sobald die Streifen etwas abgetrocknet sind, werden sie anschließend für 5 - 10 Minuten bei 110 Grad C im Heißluftsterilisator erwärmt und dann noch 2 Tage luftgetrocknet wobei die Färbung noch deutlicher hervortritt.Um die Abdrücke uneingeschränkt haltbar zu machen,fixiert man sie (Kupfernitrat 1,0;Aqua dest. 5,0;Methylalkohol oder Azeton 95,0; plus einige Tropfen konzentrierter Salpetersäure).
Der Ninhydrin-Test kann also ohne großen Aufwand an Zeit und Apparaturen durchgeführt werden.

Abb. 9. Ninhydrin-Test,durchgeführt an einem Patienten mit Durchtrennung des n. medianus 1 1/2 Jahre nach Nervennaht; unten: Finger der betroffenen linken Hand (D5 - D1); oben: Finger der gesunden rechten Hand (D5 - D1) zum Vergleich.

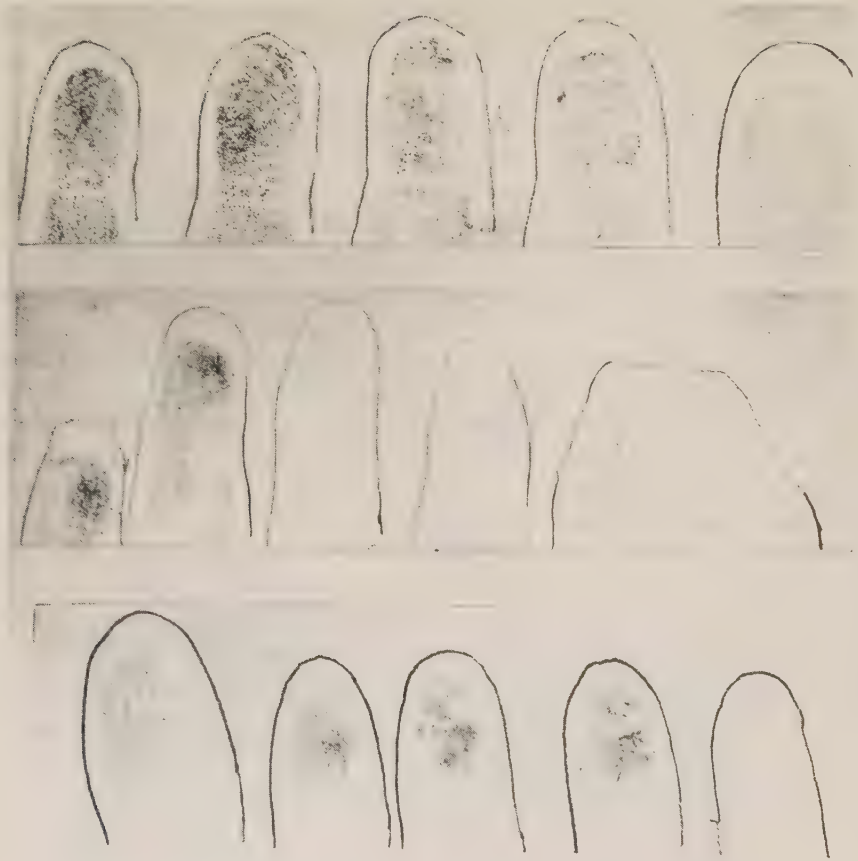


Abb. 10. Ninhydrin-Test

oben: normale Sudomotorik der Finger einer gesunden Hand;

Mitte: Aufhebung der Sudomotorik (D1,D2,D3) nach Durchtrennung des nervus medianus (D1 ulnar wird vom nervus radialis versorgt;);

unten: Aufhebung der Sudomotorik (D5) bei Läsion des nervus ulnaris;

Diskussion:

Neben vielen anderen Vorteilen (Früherkennung sensibler Ausfälle;partielle Durchtrennung;exakte Bestimmung von Innervationsgebieten) erweist sich der Ninhydrin-Test besonders wertvoll für die Beurteilung der Nervenregeneration bei Kontrolluntersuchungen nach Nervennaht.Fortschritte bei der Regeneration und Anzeichen für eine sensible Refunktion können objektiv registriert werden (MOBERG;ZRUBECKY).Ein weiterer Vorteil liegt darin,daß dieser Test auf die Mitarbeit des Patienten verzichten kann (Sprache,Angst,Kinder,Bewußtlose,Simulanten!).Da bei guter Darstellung eine quantitative Erfassung der Schweißdrüsensekretion möglich ist,erscheint es klar,daß jedichter die Punkte der Schweißdrüsenöffnungen in den Abdrücken stehen,desto besser die taktile Gnose ist(MOBERG). Dabei ist zu berücksichtigen,daß die sudomotorische Funktion einige Monate vor der taktilen Gnose wiederkehrt (MOBERG). Obwohl STROMBERG et al. dem Ninhydrin-Test zur Bestimmung der Rückkehr der Funktion nach Nervennaht Grenzen setzen,haben wir diesen Test angewandt,um auf eine Restitution der Sensibilität, d.h. der taktilen Gnose schließen zu können.Wir stuften die Ergebnisse je nach der Quantität der einzeln stehenden Punkte mit:gut,mittelmäßig,schlecht ein.

b) Zwei-Punkte-Unterscheidungstest nach WEBER:

Der mehr als 100 Jahre alte Zwei-Punkte-Unterscheidungstest nach WEBER gibt eine sehr genaue Information zur Beurteilung der taktilen Gnose.Der Test beruht darauf,daß bei Verminderung der Druckpunkte in der Haut der Mindestabstand zweier Spitzberührungen größer wird.

Wir verwendeten einen Stechzirkel mit stumpfen "Spitzen".Bei der Ausführung ist darauf zu achten,daß die Enden nur sehr leicht,gleichzeitig und gleichmäßig stark aufliegen.Der Abstand wird laufend verkleinert,bis die Minimaldistanz erreicht ist,bei der der Patient noch zwei getrennte Berührungen wahrnehmen kann.Dabei wurde der Proband angehalten,seine Augen vom Untersuchungsgebiet abzuwenden;außerdem wurde die Untersuchung dadurch erschwert,daß manchmal nur mit einer Spitze gereizt wurde,um den Aussagewert besser einschätzen zu können.

Die Untersuchung erfordert die volle Konzentration von Arzt und Patient;von letzterem noch bereitwillige Mitarbeit und einen gewissen Grad an Intelligenz.Von Vorteil ist,daß die Ergebnisse in Zahlen festgehalten werden können.
Die Normalwerte liegen an den Fingerbeeren bei 2 - 3 mm,an der Streckseite der Hand zwischen 6 und 12 mm,sind jedoch von der Beschaffenheit der Haut abhängig,weshalb dieser Test auch immer an der gesunden Hand durchgeführt wurde.Werte über 15 - 20 mm liegen außerhalb der taktilen Gnose.Steigen die Zahlen auf 30 mm oder weiter,liegen bestenfalls Schutzsensibilität und die Fähigkeit zu groben Griffen vor.

c) Auflesetest oder picking up-test:
Diesen funktionellen Test arbeitete MOBERG 1958 aus,um feststellen zu können,wie eine Hand mit genügender motorischer Funktion von seiner Sensibilität Gebrauch macht.Zwei-Punkte-Test und Auflesetest zeigen enge Korrelation in ihren Ergebnissen,die Wiederherstellung der taktilen Gnose getreffend. Der Auflesetest erlaubt ein schnelles Urteil über den praktischen Gebrauch der Hand.
Der Proband wird aufgefordert,eine Anzahl kleiner Gegenstände (Büroklammern,Schrauben,Knöpfe,kleiner Radiergummi,Nadel,Nagel, usw.),die auf einer Tischplatte liegen,aufzunehmen und in eine kleine Schachtel zu werfen.Dies soll er zuerst mit der gesunden Hand,dann mit der verletztn tun.Nachdem in diesem ersten Teil des Tests der Patient unter Führung der Augen arbeiten konnte, wobei er auch größere Gegenstände im Spitzgriff mit Hautpartien fassen kann,in denen die taktile Gnose fehlt,muß er jetzt die Gegenstände mit verschlossenen Augen aufnehmen und benennen.Beurteilt wird,ob,wie rasch und wie geschickt er die Dinge aufnehmen kann und ob sie identifiziert werden können.Hat die Hand wieder normale Sensibilität,kann sie "sehen".
Dieser Test ist sehr brauchbar in der Anwendung,benötigt wenig Zeit und ist objektiv.Besonders gute Dienste leistet der Test bei Digitalnervläsionen und ist von großem Wert bei der Be-

stimmung des funktionellen Wertes der Hand bei Medianusläsionen. Fehlt die taktile Gnose,so benützt der Proband nicht den Spitzgriff D1 - D2,sondern weicht auf D1 - D4,D5 aus.

d) Funktioneller Münzentest nach ZRUBECKY:
Auch er ist hinsichtlich der taktilen Fähigkeit der Finger sehr aufschlußreich.Verschiedene Münzen bekannter Währung (5 DM, 1DM, 50 Pf. und 1 Pf.-Stücke) liegen auf einer ebenen Tischplatte.Der Proband wird aufgefordert,die Münzen zunächst unter Kontrolle der Augen mit der gesunden und verletzten Hand aufzuheben.Anschließend soll er dasselbe bei verbundenen Augen tun und die Münzen identifizieren.Dabei tastet der Patient bei der Medianusläsion die Münzen erst mit den Fingerbeeren D4,D5 ab und versucht dann,sie zu heben,indem er sie mit der Fingerbeere von D5 gegen den Nagel von D1 drückt.Die Identifizierung ist allerdings nicht möglich,da dazu zwei vollwertige Fingerkuppen notwendig sind.

2) Tests zur Untersuchung der Motorik:

a) Elektrophysiologische Methoden zur Überprüfung der Reinnervation motorischer Einheiten

Neben vielfältigen anderen Aufgaben (Lokalisation,Ausmaß der Schädigung,Innervationsgebiet,Differentialdiagnose) bei der Diagnose- und Prognosestellung peripherer Nervenverletzungen dient das EMG dazu,Degeneration durch Denervation eines Muskels und Regeneration durch dessen Reinnervation nachzuweisen.Von großem Wert ist es außerdem,den Fortgang der Regenerationsprozesse durch das EMG zu verfolgen (STRUPPLER;MARGUTH und STRUPPLER;HOPF;CLIPPINGER,GOLDNER u. ROBERTS;MUMENTHALER). Funktionell gesehen besteht ein Muskel aus vielen motorischen Einheiten,die jeweils von einer Nervenfaser versorgt werden. Dieser Einheit entspricht elektrisch eine zweiphasige Welle, die die Reflexion des von der zugehörigen Vorderhornzelle abgefeuerten Impulses darstellt.Dieses Einheitspotential verändert sich unter pathologischen Verhältnissen auf charakteristische Weise.So ist es möglich,die Funktion der peripheren Neuriten zu prüfen.

Werden die Motoneurone eines peripheren Nervs in ihrer Kontinuität unterbrochen,folgt daraus eine Denervierung aller ihrer motorischen Einheiten.Dieser Zustand läßt sich elektromyographisch nach 2 - 3 Wochen nach der Verletzung an den typischen Denervierungspotentialen erkennen.Die Willküraktivierung ist völlig erloschen;2 - 3 Wochen später tritt Spontanaktivität auf.Die Muskelfasern kontrahieren sich spontan und asynchron.Dies erzeugt die typischen Fibrillationspotentiale,niedrige,schmale Potentiale,und die positiven Wellen.Das Phänomen der Fibrillation scheint vom Verlauf der Wallerschen Degeneration abzuhängen,da es nicht vor 2 - 3 Wochen nach der Verletzung auftritt.
Hält das Degenerationspotential über längere Zeit an,und sind keine Reinnervationszeichen nachweisbar,sollte operativ interveniert werden.Wird der Muskel nicht wieder innerviert, dauern die Fibillationspotentiale so lange an,bis der Muskel fibrös umgewandelt ist.
Der Erfolg einer Nervennaht läßt sich durch das Erscheinen erster Regenerationspotentiale im EMG 4 - 8 Wochen vor dem Zeitpunkt erkennen,an dem der Patient die erste motorische Wirkung bemerkt.Zunächst läßt die Spontanaktivität nach,es treten einzelne willkürlich aktivierbare motorische Einheiten auf,sog. Regenerationspotentiale.Sie sind kurz,von kleiner Amplitude und Fibrillationspotentialen sehr ähnlich;imLaufe der Zeit werden diese Potentiale polyphasisch.Diese Potentiale sind zunächst nur elektrisch faßbar.Nach und nach werden immer mehr motorische Einheiten im Zuge der fortschreitenden Regeneration erregbar.
Die Kontrolle der Nachbehandlung peripherer Nervenverletzungen empfiehlt sich deswegen,weil nach dem Auftreten der ersten Regenerationszeichen die aktive Bewegungsübung an die Stelle der Elektrisierungsbehandlung treten soll.Das EMG kann ferner klärend bei den Gewohnheitslähmungen und pathologischen Mitbewegungen wirken.
Bei der Reinnervation zeigt die Elektroneurographie (ENG) eine Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit,erstens weil die Fasernregenerate dünner und ärmer an Myelin sind und zweitens weil die Nervenimpulse im regenerierten Nerven mehr Internodien

zu überspringen haben,da diese nach der Regeneration enger stehen.

b) Funktionsprüfung der Muskeltätigkeit mit Hilfe von Grifformen

Die Funktionsprüfung der Motorik ist ein wesentlicher Faktor bei der Beurteilung der Regeneration nach einer Nervenverletzung.War aus technischen Gründen eine elektrophysiologische Untersuchung nicht möglich,so informierten wir uns an Hand der vorhandenen Muskeltätigkeit über den Refunktionsgrad der Motorik.

Es sind Tests und Grifformen entwickelt worden,die ohne großen Aufwand schnell ein sehr gutes funktionelles Bild der möglichen Handbewegungen geben.

Einige seien kurz erwähnt:

a) FROMENTsches Symptom

Bei Parese des m. adductor pollicis kann D1 nicht mehr adduziert werden.Für ihn springt kompensatorisch der m. flexor pollicis longus ein.D1 hält einen Gegenstand,z.B. eine Postkarte,mit stark gebeugter Endphalange.

b)"Flaschenzeichen"

bei Parese des m. abductor pollicis brevis;da der m. abductor pollicis longus nicht als Ersatz genügt,führt die Schwächung der D1-Abduktion beim Umfassen einer Flasche dazu,daß die Hautpartie zwischen D1-Endphalange und D2 nicht an der Rundung anliegt.

c) Spitzgriff D1 - D5

Der Spitzgriff D1 - D5 ist bei Parese des m. opponens pollicis nicht möglich,ebenso bei Parese des m. opponens digiti quinti.

d) weitere Grifformen: Faustschluß,Schlüsselgriff,Tragegriff, Spitzgriff D1 - D2,D1 - D3,D1 - D4;

Bei den übrigen Muskeln,besonders am Unterarm wurde die jeweilige Funktion direkt und wo möglich unter Betasten der Sehne überprüft.Bei allen Funktionsprüfungen ist eine etwa bestehende Gelenkversteifung und die Täuschungsmöglichkeit durch Trickbewegungen zu beachten.

Wenn keine vollständige Parese besteht,prüft man die grobe Kraft durch Bewegung gegen den Widerstand.Dabei ist es ratsam,mit der gesunden Seite zu vergleichen.

Für die Beurteilung der Wiederherstellung einer Bewegung empfiehlt SEDDON folgendes Schema:

Stadium 0: komplete Parese

Stadium 1: angedeutete Kontraktion

Stadium 2: Kontraktion nur mit ausgeschalteter Schwerkraft

Stadium 3: Kontraktion gegen die Schwerkraft allein

Stadium 4: Kontraktion gegen Schwerkraft und geringen Widerstand

Stadium 5: Kontraktion gegen kräftigen Widerstand (normale Kraft)

Symptome nach Durchtrennung peripherer Nerven

a) Sensibilität

Nach Durchtrennung eines peripheren Nervs finden sich in dem jeweiligen anatomischen Versorgungsgebiet gut abgrenzbare Sensibilitätsausfälle (Siehe Skizzen in Teil I,Anatomie). Durch Überlagerung von Nachbarnerven manifestiert sich die Sensibilitätsstörung in einem,mit den anatomischen Grenzen verglichen,kleinerem Gebiet.Nach HEAD sind in dem zentralen schwer geschädigtem Gebiet die Wahrnehmung von Berührung, Schmerz und Temperatur völlig aufgehoben.In der Randzone sind die Empfindungen für feine Berührung aufgehoben,für das Zwei-Punkte-Unterscheidungsvermögen herabgesetzt,für Schmerz erhalten,aber in seiner Qualität verändert,für Temperatur nur bei extremen Graden erhalten.Aufgrund der vielfältigen Anastomosenbildungen kann es zu sehr mannigfachen Innervationsmustern kommen.
Neben den oben erwähnten Empfindungsqualitäten geht nach einer vollständigen Durchtrennung der sensiblen Fasern die für die Hand als "Tastorgan"(ZRUBECKY) überaus wichtige taktile Gnose verloren,das "Fingerspitzengefühl" (DICK).
Die Dreidimensionalität der taktilen Gnose vermittelt uns - ohne Gebrauch der Augen - einen sicheren Eindruck von Größe, Form,Konsistenz und Oberflächenbeschaffenheit eines Gegenstandes. Dies wird durch Summation und Integration der verschiedenen Wahrnehmungen an den Fingerkuppen ermöglicht.Ungestörte taktile Gnose ist Voraussetzung für eine volle Gebrauchsfähigkeit der Hand,für alle Griffe im Beruf und alltäglichem Leben (Präzisionsgriffe) (CARSTENSEN).MOBERG vergleicht die komplexe Funktion der Hand-Sensibilität mit der des Auges, als dessen Ausdruck für normale Funktion auch nicht die Wahrnehmung von Hell-Dunkel mit der des Sehens identifiziert werden kann.BUNNEL sagte bei Verlust der Sensibilität der Finger: "Die sogenannten Augen seiner Finger sind blind".

ZRUBECKY spricht mit Recht von der "Wertigkeit" der Sensibilität, da die Lokalisation der Ausfälle entscheidend für die Gebrauchsminderung ist.Von besonderer Bedeutung ist der Verlust der taktilen Gnose an der Ulnarseite der Daumenkuppe,Radialseite der Zeige- und Mittelfingerkuppe und an der Ulnarseite des Kleinen Fingers (sensible Ersatzoperationen!).An diesen Stellen stehen die sensiblen Aufnahmeapparate am dichtesten.

Abb. 11. Wertigkeit der Sensibilität an den verschiedenen Fingern.

b) Trophik

Die Durchtrennung der Fasern des sympathischen Nervensystems führen an der Haut und ihren Anhangsgebilden zu einer Reihe schwerer trophischer Störungen.
Am stärksten sind diese vegetativen Veränderungen an der Hand ausgeprägt und zwar bei Läsion des n. medianus.Die meisten der folgenden trophischen Störungen stellen sich erst nach Degeneration

(2 - 3 Wochen nach der Verletzung) ein.
Sehr auffallend ist die Atrophie der Fingerbeeren,die zum Nagel hin zugespitzt erscheinen.
Der Nagel ist stärker gewölbt,dicker und zeigt oft Wachstumsstörungen,die sich in Form weißlicher Querstreifen,den sogenannten MEESschen Streifen,oder stufenartiger Querwülste manifestieren.
Sehr charakteristisch ist das ALFÖLDIsche Nagelbettzeichen, bei dem sich zwischen Nagel und Fingerbeere eine leistenförmige Wucherung des Nagelbettes nach vorne schiebt.
Das Relief der Papillarleisten der betroffenen Hautareale an Fingern und Handfläche ist weniger prominent oder verstrichen.
Die Haut selbst ist trocken,glatt,dünn und glänzend und zeigt beim Zusammenschieben feine pergamentartige Fältelung.Dieses Zustandsbild der Haut wird durch die rasche,kleinschuppige Abschilferung der Hornhautschicht und die fehlende Schweiß- und Talgdrüsensekretion verursacht.Zuweilen kommt es bei älteren Verletzungen zu Hyperkeratosen. Die gefühllosen Hautpartien sind Verletzungen und Verbrennungen (Zigaretten!) sehr ausgesetzt.Alle Wunden in diesen Bereichen zeigen infolge der verminderten Durchblutung schlechte Heilungstendenz.Nicht selten bilden sich die gefürchteten trophischen Geschwüre.
Auch zu Anomalien in der Behaarung kommt es,wobei nach der Verletzung verminderte Behaarung auftritt,im Spätstadium hauptsächlich Hypertrichinosen beobachtet werden.
Die vasomotorischen Störungen,infolge des hohen Anteils an sympathischen Nervenfasern besonders bei Medianusläsionen ausgeprägt,können sich auf die ganze Extremität erstrecken oder auf das Innervationsgebiet beschränkt sein.Nach vorübergehender Hyperämie stellt sich nach einigen Tagen eine Vasokonstriktion der zuführenden Gefäße ein;die damit verbundene venöse Stase führt zu ausgeprägter Zyanose und verminderter Hauttemperatur.Die Haut kann aber auch auffallend blaß erscheinen.
Mit sehr heftigen trophischen Störungen sind oft Hyperalgesien und Kausalgien vergesellschaftet.

Schließlich kommt es zu Störungen der Schweißsekretion und Pilomotorenreaktion.Zu ersterm ist zu sagen,daß gewöhnlich sofort nach der Nervendurchtrennung Anhidrosis eintritt (Grundlage des Ninhydrintests),in wenigen Fällen besteht aber exzessive Hyperhidrosis.
Sind alle motorischen Fasern eines peripheren Nerven durchtrennt worden,kommt es zur gemeinsamen Atrophie der motorischen Einheiten der jeweiligen Muskeln.Diese Atrophie wird in der Regel nach drei Wochen sichtbar.Leicht zu erkennen ist sie beispielsweise am Thenar und Antithenar.
Folge länger bestehender Paresen kann eine Atrophie der Knochen sein (Sudecksche Dystrophie).Veränderungen an den Gelenken sind meist sekundärer Natur und durch abnorme Gelenkstellungen verursacht.

c) Motorik

Die Zahl der gelähmten Muskeln und der Grad der Parese hängt ab von der Höhe der Verletzung und dem Anteil der durchtrennten motorischen Nervenfasern.Vielfach äußert sich die Parese eines Muskels nicht in einer völligen Aufhebung der Bewegung, sondern in einer Verringerung der Kraft derselben oder in sonst veränderter Weise.Auch ist es möglich,daß nach Ausfall eines Muskels andere,die ansonsten nur in geringem Grad an der Bewegung beteiligt sind,zur Ersatzleistung einspringen.
Die Lähmung wird als eine schlaffe bezeichnet,da sie mit einer Verminderung des Muskeltonus einhergeht.Dauert die Parese über längere Zeit an,kommt es schon nach drei Wochen zu einer deutlichen Atrophie der jeweiligen Muskulatur,die beträchtliche Ausmaße erreichen kann.Bei alten Lähmungen fühlen sich die Muskelreste hart an.Nicht selten finden sich sekundäre Kontrakturen in den Antagonisten der gelähmten Muskaln.

1) nervus medianus-Parese

Die komplette Medianusparese ist am typischen Bild der Schwurhand sofort zu diagnostizieren.Sie entsteht durch den Ausfall der Beuger (m. flexor digitorum superficialis und rad. Anteil des m. flexor digitorum profundus) für die Mittel- und End-

gelenke D 2,D 3 und das Endgelenk D 1 (m. flexor pollicis longus) und durch die Unfähigkeit,den Daumen zu opponieren. Deshalb wird die Medianushand auch Affenhand genannt.Bei dieser Stellung der Finger,die durch Aufforderung zum Faustschluß provoziert werden kann,werden die Grundgelenke von D 2 und D 3 durch die vom n. ulnaris innervierten Mm. interossei leicht gebeugt.
Außerdem ist bei proximaler Medianusverletzung durch Ausfall beider Pronatoren diese Bewegung sehr beeinträchtigt,da der m. brachioradialis den Vorderarm nur in Beugehaltung pronieren kann und zwar nur bis zur Mittelstellung.
Die Beugung im Handgelenk wird noch durch den m. flexor carpi ulnaris ermöglicht,jedoch mit gleichzeitiger Ulnarduktion.
Die Parese des m. flexor pollicis brevis (oberflächlicher Kopf) und der Mm. lumbricales I - II bleibt ohne besondere Wirkung.
Bei tiefer Medianusverletzung fällt die Parese des m. abductor pollicis brevis auf,der vom m. abductor pollicis longus nicht genügend ersetzt werden kann.
Die Lähmung des m. opponens äußert sich dadurch,daß der Spitzgriff D 1 - D 5 nicht zustande kommt.
In fortgeschrittenen Fällen imponiert besonders die Abduktor-Opponens-Atrophie am seitlichen Thenar.

2) nervus ulnaris - Parese

Das charakteristische Symptom bei der n. ulnaris-Parese ist die Krallenhand.Die Mm. lumbricales III und IV und die Mm. interossei flektieren im Endgelenk und extendieren im Mittel- und Grundgelenk D 4,D 5.Bei Parese der genannten Muskeln überwiegt ihr Antagonist,der m. extensor digitorum communis und führt zur Überstreckung im Grundgelenk;außerdem kommt es im Mittel- und Endgelenk zur Beugung durch den m. flexor digitorum profundus.Daneben ist es für die Ulnarisparese sehr typisch,daß die Finger D 5,D 4 und D 2 nicht oder nur in ganz geringem Ausmaß abduziert und adduziert werden können.D 5 steht meist in Abduktionsstellung.
Atrophien finden sich am Hypothenar,in den spatia interossea und besonders deutlich im spatium interosseum I durch die Parese des m. adductor pollicis.Weit weniger von Bedeutung

ist bei hoher Ulnarisverletzung der Ausfall des m. flexor carpi ulnaris und des m. flexor digitorum profundus (D 4 und D 5). Die Funktionen dieser Muskeln können fast vollständig von den medianusinnervierten Muskeln kompensatorisch übernommen werden.

3) nervus radialis - Parese

Deutliches Zeichen der Radialisparese ist die Fallhand.Dabei ist die Abduktion des Daumens unmöglich,die Streckung der Grundphalangen D 2 - D 5 und die Dorsalflexion im Handgelenk.Bei passivem Versuch fällt die Hand immer wieder in die Volarflexion Mittel- und Endphalangen können von den Mm. lumbricales und interossei gestreckt werden,wenn die Grungphalangen passiv angehoben werden.Diese Symptome zeigt die untere Radialisparese. Besonders auffallend ist dabei die Atrophie an der Streckseite des Unterarms.

Bei der mittleren Parese fallen der m. brachioradialis und der m. supinator aus;sie sind von funktionell untergeordneter Bedeutung.Hervorstechendes Merkmal bei der Inspektion ist die charakteristische Brachioradialisatrophie.

Der m. triceps kann durch eine sehr hohe Radialisparese betroffen sein. Dabei ist Streckung des Ellenbogengelenkes aufgehoben.Der Arm fällt aus der Beugung in die Streckung.

Methodik der Nachuntersuchung

Bei der Nachuntersuchung wurde zur Beurteilung des Heilerfolges auf folgende Punkte besonderer Wert gelegt:

a) Einschätzung durch den Patienten;
b) Einschränkung der Arbeitsfähigkeit;
c) Trophische Störungen;
d) Wiederherstellung der Sensibilität;d.h. der taktilen Gnose;
e) Wiederherstellung der Motorik;

zu a) Einschätzung durch den Patienten:
Der Patient wird gebeten,das Ergebnis der Nervennaht nach folgenden Prädikaten zu beurteilen:
gut gebessert nicht gebessert

zu b) Einschränkung der Arbeitsfähigkeit:
Hierbei wurde der Patient befragt über:
- Wechsel in der Führungshand;
- Wechsel im Beruf;
- Ist die volle Berufsausübung möglich?
  nein eingeschränkt ja

zu c) Trophische Störungen:
Atrophie der Fingerspitzen;
ALFÖLDIsches Nagelbettzeichen,Wachstumsstörungen der Nägel;
Haut (dünn,glänzend,glatt);Papillarleisten (verstrichen, abgeflacht);Hyperkeratosen;
Störungen der Vasomotorik;

zu d) Sensibilität und taktile Gnose:
Nach anfänglicher kurzer Überprüfung der Sensibilitätsqualitäten:Berührung,Schmerz,Temperatur und Druck wurde auf die funktionellen Tests besonderer Wert gelegt,weil nur sie Aufschluß über die taktile Gnose der verletzten Extremität geben.

1) Auflesetest nach MOBERG
   mit offenen und geschlossenen Augen;
2) Identifizierung der Gegenstände bei geschlossenen Augen;

3) Funktioneller Münzentest nach ZRUBECKY

4) Zwei-Punkte-Unterscheidungstest nach WEBER

5) Ninhydrin-Test nach MOBERG

Beurteilungsschema der Resensibilisierung

Mißerfolg	S 1	Sensibilität und taktile Gnose aufgehoben oder von geringem Nutzen; An- oder Hyperästhesie; sämtliche Tests negativ;
befriedigendes Ergebnis	S 2	Schutzsensibilität, keine taktile Gnose; befriedigende Wiederherstellung der Sensibilität auf Berührung und Schmerz; brauchbare Funktion, jedoch gering ausgeprägt; Auflesetest nur unter Kontrolle der Augen möglich, Identifizierung meist aufgehoben; Ninhydrintest: mäßig; Zwei-Punkte-Unterscheidungstest: über 15 mm;
Erfolg	S 3	funktionell ausreichende taktile Gnose; Zwei-Punkte-Unterscheidungstest: 10 - 15 mm; Ninhydrin-Test: gut oder sehr gut; alle anderen Tests mit gutem Ergebnis;
	S 3 +	vollkommene Wiederherstellung; Zwei-Punkte-Unterscheidungstest: bis 9 mm; Ninhydrin-Test und alle anderen Tests positiv oder voll durchführbar;

Umrechnungsschema zur Beurteilung nach HIGHET:

HIGHET:	unser Schema:
S 1, S 2	S 1
S 2 +, S 3	S 2
S 3 +	S 3
S 4	S 3 +

zu e) Wiederherstellung der Motorik:

- Klinische Untersuchung

  Beurteilung der Muskelatrophien,Messung mit dem Maßband;Überprüfen der jeweiligen Bewegungen;
  Grifformen: Schlüsselgriff,Tragegriff,Faustschluß,Spitzgriff,FROMENTsches Symptom;"Flaschenzeichen";
  Prüfung der groben Kraft;

- EMG

Beurteilungsschema der Remotorisierung

Mißerfolg	M 1	keine oder wenig brauchbare Kontraktion; EMG: ungenügende oder fehlende Reinnervation;
befriedigendes Ergebnis	M 2	nützliche,aber verminderte Motorik; EMG:ausreichende Reinnervationsverhältnisse,aber noch deutliche Rarefizierung des Aktivitätsbildes;
Erfolg	M 3	Kontraktion in allen Muskeln,aber leichte Einschränkung,z.B. schnelle Ermüdbarkeit nach kurzer Anstrengung; EMG:gute Reinnervationsverhältnisse mit nur geringer Rarefizierung;
	M 3 +	Komplette Wiederherstellung, kräftige,seitengleiche Kontraktion; EMG: weitgehende normale Reinnervationsverhältnisse;

Umrechnungsschema zum Vergleich mit der Beurteilung nach HIGHET:

HIGHET:	unser Schema:
M 1,M 2	M 1
M 3	M 2
M 4	M 3
M 5	M 3 +

K r a n k e n g u t

Den Ambulanzkarteien,Operationsbüchern und Krankengeschichten konnten folgende Angaben entnommen werden:Alter,Geschlecht, Beruf,Unfallart,Unfallursache,Nebenverletzungen,Art und Verletzungsstelle des Nervs,primäre Ausfälle,Art der Nervennaht, Zeitraum zwischen Verletzung und Operation,Zeitraum bis zur Nachuntersuchung,gutachterliche Nachuntersuchungsergebnisse, Nachbehandlungsart.

Die Nachuntersuchung erfaßt die an der chirurgischen Universitätsklinik München in der Zeit vom 1.1.1964 bis zum 31.12.1970 durchgeführten Nervennähte an der oberen Extremität.

In diesem Zeitraum wurden von 5 Chirurgen 164 durchtrennte Nerven bei 127 Patienten genäht.Hierbei handelte es sich ausschließlich um Verletzungen der wichtigsten drei Armnerven: n. medianus,n. ulnaris und n. radialis.

Die vorliegende Arbeit umfaßt die Ergebnisse von 141 Nervennähten, durchgeführt an 110 Patienten.Die restlichen Patienten hatten - wie den Rückantwortkarten zu entnehmen war - den Wohnort gewechselt,besonders ausländische Arbeiter und junge Patienten, oder sie scheuten den weiten Anreiseweg;einige waren verstorben.

Tabelle 1 zeigt eine genaue Gliederung des Krankengutes.Der n. medianus war der am häufigsten betroffene Nerv (59 %),gefolgt vom n. ulnaris (37 %).Wie auch in den Statistiken anderer Autoren hat der n. radialis in Fiedenszeit eine sehr geringe Verletzlichkeitsquote (4 %).Die Untersuchung erstreckt sich auf 51 Nervennähte rein sensibler Nerven im Bereich der Handfläche und der Finger und 90 Nervendurchtrennungen gemischter Nerven in Höhe des Handgelenks,Unterarms und -sehr selten-des Oberarms.Von den 141 Nervennähten wurden 34 bei Frauen,also nur ein Drittel,die restlichen zwei Drittel,107,an Männern durchgeführt.

Tabelle 1:Gliederung des Krankengutes nach Nerv und Läsionshöhe

Nerv	total	Pat.	Fi.-nerv.	Pat.	HG/U-arm	Pat.
n. med.	84	67	40	23	44	44
n. uln.	51	51	11	11	40	40
n. rad.	6	6	-	-	6	6
	141	124	51	34	90	90
		-14(n.uln.+n.med.)				
		110				

V e r l e t z u n g

Alle Nervenverletzungen waren totale Durchtrennungen.
Aus Tabelle 2 kann die Art des Unfalls entnommen werden.

Tabelle 2: Unfallart

	HG/U-arm	Fingernerven
Arbeitsunfall	46 %	55 %
Verkehrsunfall	6 %	2 %
Hauswirt. Unfall	43 %	41 %
Suizid	3 %	-
iatrogen	2 %	2 %

Besonders zu erwähnen sind der hohe Prozentsatz der Verletzungen am Arbeitsplatz und die große Zahl der hauswirtschaftlichen Unfälle.Hierin faßten wir alle Verletzungen zusammen,die bei der Freizeitgestaltung,beim Basteln,im Streit,unter Alkoholeinfluß,durch Sturz oder beim Spielen verursacht wurden.
In zwei Fällen führte ein Suizidversuch mit Rasierklingen zur Durchtrennung des n. medianus am Handgelenk.
Zwei Nerven wurden operativ durchtrennt.Bei dem einen Patienten handelte es sich um einen Neurolyseversuch nach schwerer N. radialis -kompression infolge Humerustrümmerfraktur,das andere Mal wurde in einem auswärtigen Haus bei der Versorgung einer Verletzung im Bereich der Palma ein sensibler Fingernerv durchtrennt.
Die Verletzungsursache war in 58 % Glas.Neben Fensterscheiben, Gläsern und Scherben scheinen Glastüren und Bierflaschen von besonderer Gefährlichkeit zu sein.
Maschinen,Werkzeuge oder scharfe Metallgegenstände waren in 39 % als Ursache vertreten (Messer,Kreissäge,Axt,Sense,Blech,Konservendosen,Rasierklingen,Stanzmaschinen,Fräse,Schleif-, Schneide-,Bohr- und Brotschneidemaschinen).
In je zwei Fällen oder jeweils 1,5 % waren Frakturen (radius und humerus) oder ärztliche Fehlleistungen der Grund der Nervendurchtrennung.Betrachtet man die hohe Zahl von Arbeitsunfällen, so ist es nicht verwunderlich,daß bei Berufen wie Landwirten, Metzgern,Schreinern,Sägearbeitern,Hausfrauen und Schülern die Nervenverletzungen gehäuft auftreten.Aber auch Leute vom Bau

(Anstreicher,Elektriker,Fußbodenleger,Maurer,Hilfsarbeiter, Betonbauer,Schweißer) und an Maschinen Arbeitende (Werkzeugmacher,Maschinenschlosser,Stanzer,Karosseriebauer,Werkzeugschleifer,Autolackierer,Autoelektriker,Orthopädiemeister, Sattler,Schlosser,Tankwart) sind häufig vertreten.

Nebenverletzungen:

Neben Nervenverletzungen treten der Häufigkeit nach folgende Begleitverletzungen:

a) Sehnen: Zumeist waren die langen Fingerbeugesehnen betroffen.

Tabelle 3: Häufigkeit von Sehnenverletzungen bei den einzelnen Nerven

Nerv	Sehnenverletzung schwer	leicht	gesamt
n. med.	59 %	15 %	74 %
n. uln.	65 %	5 %	70 %
n. rad.	33 %	-	33 %
Fingernerven	37 %	43 %	80 %

schwere Sehnenverletzung: zwei oder mehrere Sehnen durchtrennt
leichte Sehnenverletzung: eine Sehne durchtrennt;

b) Arterien,und zwar die art. uln. und rad.,waren in 33 % der Fälle,zu gleichen Teilen über alle Nerven verteilt,durchtrennt worden.

c) Nerven:
Fingernerven:Bei 9 Patienten waren mehr als ein Nerv durchtr.
Handgelenk und Unterarm: Bei den 44 n. med.-Durchtrennungen war in 14 Fällen (32 %) der n. uln.,umgekehrt bei 40 n. uln.-Läsionen der n. med. in ebenfalls 14 Fällen (35 %) mitverletzt.

d) Schwere Muskelverletzungen traten bei n. uln.-Durchtrennungen in 8 %,bei n. med.-Verletzungen in 18 % der Fälle auf.

e) Frakturen waren beim n. uln. und n. med. in 5 % der Fälle zusätzlich zu versorgen,beim n. rad. hingegen in 66 % (Radius-,Humerustrümmerfraktur),was hinsichtlich seines Verlaufes nicht verwundert.

N e r v e n n a h t

Alle Nervennähte wurden mit feinstem atraumatischen Nahtmaterial,Stärke 6,0,in epineuraler Nahttechnik nach genügend weiter Resektion und Mobilisierung der Nervenenden durchgeführt. Bei n. uln.-Durchtrennungen im Bereich des Unterarms oder Handgelenks wurde in einigen Fällen eine Transposition nach ventral vorgenommen.

Von den 141 Nervennähten konnte bei 19 sofort nach der Verletzung die Primärnaht durchgeführt werden.Der weitaus größte Anteil, 122,wurden sekundär versorgt.Dies hat seine Ursache darin,daß die Patienten nach der Erstversorgung in den Landkrankenhäusern erst nach 3 - 6 Monaten oder noch später zur weiteren Behandlung in unsere Klinik überwiesen werden.

Der prozentuale Anteil der Patienten,die bis zu einem halben Jahr,einem Jahr oder gar nach noch längerer Zeit nach der Verletzung zur Wiederherstellungsoperation kommen,kann Tabelle 4 entnommen werden.Sie zeigt,daß bei den Fingernerven 83 %,bei den mehr proximal liegenden Verletzungen 63 % der Nervennähte innerhalb der für die Naht noch günstigen 6 Monate nach der Traumatisierung durchgeführt werden konnten.

Tabelle 4: Zeitraum zwischen Verletzung und Operation

	0 - 6 Mo	6 - 12 Mo	länger
Fingernerven	83 %	8 %	9 %
Unterarm/HG	63 %	17 %	20 %

Bild 1 zeigt den prozentualen Anteil in Abhängigkeit von der Zeit zwischen Verletzung und Wiederherstellungsoperation.

Von Bedeutung für eine gute Regeneration ist die Lokalisation der Verletzung. Tabelle 5 gibt darüber Auskunft:

	re	li
Fingernerven	33	18
Palma	3	-
Handgelenk	17	20
Unterarm	26	18
Ellenbogen	3	1
Oberarm	1	1
	re 83	li 58

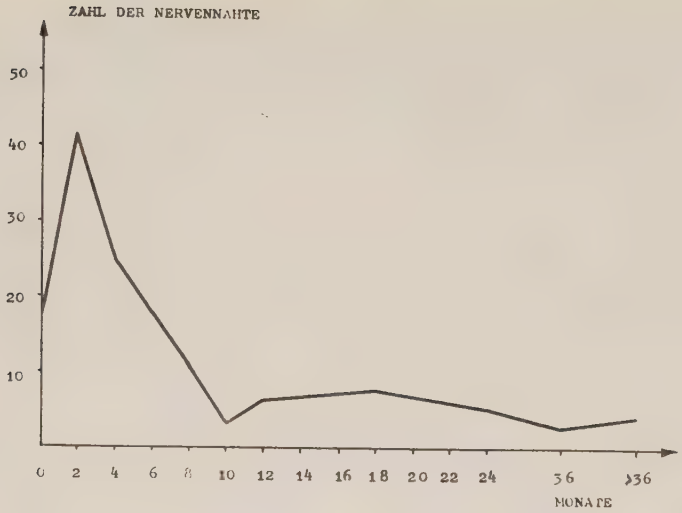


Abb. 12. Zahl der Nervennähte in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Nervennaht.

Ergebnisse

1) Einstufung durch die Patienten selbst:

Nervenverletzung in Höhe	gut	gebessert	nicht gebessert
Unterarm,Handgelenk	25 %	46 %	29 %
Fingernerven	23 %	43 %	34 %

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der Nachuntersuchung,so ist man erstaunt,wie gut die Resultate übereinstimmen und wie gut verwertbar die Einschätzung durch den Patienten selbst ist.Vorsicht ist angezeigt bei den Antworten überempfindlicher,depressiver und pessimistischer Patienten,außerdem bei Leuten,die,oft sehr gekonnt,bei jeder ärztlichen Untersuchung

einen Mißerfolg simulieren,in der Hoffnung,einen höheren Rentenanspruch geltend machen zu können.

2) Beurteilung der Arbeitsfähigkeit:

a) Durch Verlust der taktilen Gnose nach Nervenverletzung verliert die betroffene Hand an Gebrauchswert.Der Patient wechselt die Führungshand,wenn diese von der Verletzung betroffen ist. Dieser Vorgang wird im Fall einer erfolgreichen Regeneration wieder rückgängig gemacht.Bleibt dies aus,so kann es als Zeichen für einen Mißerfolg angesehen werden.Von den 110 Patienten unserer Untersuchungsreihe hatten sich zur Zeit der Nachuntersuchung 28 (25 %) auf die andere Hand als dominante eingestellt,weil die andere gebrauchsunfähig war und zu Handgriffen ohne Augenkontrolle nicht eingesetzt werden konnte,obwohl die Operation ein Jahr oder länger zurücklag.
Weitere 25 (22 %) stellten sich auf beidhändiges Arbeiten um. Diese Personen können zumeist mit der betroffenen Hand grobe Arbeiten gut ausführen,für feine Handgriffe wie z.B. zum Nähen muß jedoch die gesunde Hand angelernt werden.

b) Wegen der Nervenverletzung mußte eine nicht kleine Zahl der Betroffenen den erlernten Beruf wechseln und sich leichtere, manuell weniger anspruchsvolle Beschäftigung suchen.
Bei Nervenverletzungen in Höhe des Unterarms oder Handgelenks lernten durchschnittlich 22 % der Patienten um,die höchste Zahl erreichte verständlicherweise der n. med. mit 27 %,die niedrigste der n. rad. mit 17 %.
Auch nach Fingernervenverletzungen mußten 17 % der Patienten entweder den Beruf wechseln oder eine leichtere Beschäftigung innerhalb ihrer Firma übernehmen.
Diese Ergebnisse werden in hohem Ausmaß auch durch die nicht immer erfolgreichen Sehnennähte und hinderliche Verwachsungen beeinflußt.

c) Die Frage nach der Möglichkeit einer vollen Berufsausübung wurde in 42 % mit "Ja" beantwortet,31 % fühlten sich in ihrer Arbeitskraft "eingeschränkt" und 26 % entschieden sich für "nein". Dies galt für die Verletzungen am Unterarm und am Handgelenk. Von den Patienten mit Fingernervenläsionen stuften sich 47 % als

voll,22 % als vermindert und 31 % als nicht voll arbeitsfähig ein.

3) Ergebnisse der Wiederkehr der taktilen Gnose und der Motorik:

a)Soweit es möglich war,wurde eine Nachbehandlung in der Krankengymnastischen Abteilung der Universitätsklinik durchgeführt oder zumindest eingeleitet.Auswärtige Patienten wurden angehalten, während ihrer Arbeitsunfähigkeit zweimal in der Woche hierher zu kommen,bis sie dann der entsprechenden Abteilung ihres Krankenhauses überwiesen wurden oder selber zuhause die Übungen fortsetzen konnten.
Die Länge der Nachbehandlungszeit wurde in unserer Serie maßgeblich durch die große Zahl der mitbeteiligten Sehnenverletzungen,d.h. der Sehnennähte beeinflußt.
84 % der Patienten haben durchschnittlich 6,5 Monate lang Bewegungstherapie betrieben.Außerdem gaben 50 % an,über durchschnittlich 4 Monate elektisch stimuliert worden zu sein.

b)Eine spürbare Besserung als Zeichen der Regeneration zeigte sich bei Primärnaht 6,5 Monate,bei Sekundärnaht 8 - 10 Monate nach der Wiederherstellungsoperation.

c) Ergebnisse der Resensibilisierung:

Tabelle 6 zeigt einen Vergleich der Resultate,aufgegliedert in in Fingernerven und Nervennähte in Höhe Handgelenk und Unterarm:

a) über alle 141 Nervennähte;
b) mit Ausklammerung der Ergebnisse bei Kindern;

a)	S 3+		S 3		S 2		S 1	
Fingern.:	5	10 %	8	18 %	27	53 %	11	19 %
HG/U-arm:	9	12 %	14	16 %	47	51 %	20	21 %
total: 141	14	10 %	22	16,5%	74	52 %	31	21,5%
b)	S 3+		S 3		S 2		S 1	
Fingern.:	2	4 %	7	15 %	27	57 %	11	24 %
HG/U-arm:	-	-	12	17 %	45	59 %	20	24 %
total: 124	2	2 %	19	16 %	72	58 %	31	24 %

Für die weitere Diskussion ist Tabelle 6b maßgebend,da ein sinnvoller Vergleich der Ergebnisse nicht möglich ist,solange in die Statistik die sehr guten Ergebnisse bei Kindern,die später getrennt behandelt werden,eingeschlossen sind.

Die Gegenüberstellung beider Tabellen zeigt:

1) Eine vollständige Wiederherstellung der taktilen Gnose ist fast nur im Kindesalter zu erwarten,was auch Tabelle 7 sehr anschaulich darstellt.In nur 2 Fällen konnte bei Erwachsenen eine Wiederherstellung der taktilen Gnose erzielt werden,und zwar bei Jugendlichen im Alter von 15 und 19 Jahren.

2) Bei diesen Patienten handelte es sich um distale Fingernerven, wo die Axonregenerate einen viel kürzeren Weg zurückzulegen haben,um zu den Endorganen zu gelangen. Je distaler die Verletzung,desto besser scheint das Ergebnis .

3) Tabelle 6 b zeigt,daß bei 19 Patienten oder in 16 % eine ausreichende funktionelle taktile Sensibilität erreicht werden konnte.Zählt man zu den 2 % vollständiger Wiederherstellung diese 16 %,so wurde in 18 % der Fälle mit vollem Erfolg operiert. In 58 % stellte sich eine brauchbare und nützliche Wiederherstellung für Berührung und Schmerz (Schutzsensibilität) ein. Ohne jeden Erfolg wurden 24 % operiert.Ihr Zustand konnte nicht geändert werden.Sie zeigten An- oder Hyperästhesie mit ausgedehnten trophischen Störungen.

Tabelle 7: Altersmäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse/SENSIBILITÄT:

Alter	S 3+	S 3	S 2	S 1
- 10	9	2	-	-
11 - 15	4	4	4	-
16 - 20	1	8	17	4
21 - 25	-	2	13	5
26 - 30	-	3	14	4
31 - 35	-	2	6	5
36 - 50	-	-	11	7
51 - 65	-	-	11	4

In der nachfolgenden Tabelle 8 werden die in Tabelle 6 wiedergegebenen Totalergebnisse für die 90 in Höhe des Handgelenks

und des Unterarms genähten Nerven je nach Art des Nervs aufgeschlüsselt.

Tabelle 8: Vergleichende Darstellung der Nervennahtergebnisse am Handgelenk und Unterarm zwischen n. med.,n. uln. und n. rad.
a) mit den Nahtergebnissen der Kinder (90 Fälle);
b) ohne die Resultate bei Kindern (77 Fälle);

	Nerv	S 3+		S 3		S 2		S 1	
a)	n. med.	3	7 %	7	16 %	24	54 %	10	23 %
	n. uln.	5	12,5%	6	15 %	20	50 %	9	22,5%
	n. rad.	1	16,6%	1	16,6%	3	50 %	1	16,6%
b)									
	n. med.	-	-	6	15 %	23	59 %	10	26 %
	n. uln.	-	-	5	15 %	19	58 %	9	27 %
	n. rad.	-	-	1	20 %	3	60 %	1	20 %

Es zeigt sich,daß der n. rad. die beste Heilungstendenz aufweist,gefolgt vom n. med..Der Unterschied zwischen n. uln. und n. med. ist jedoch so gering,daß eine Bewertung fraglich erscheint.

4) Ergebnisse der motorischen Wiederherstellung:

Tabelle 9: Ergebnisse der Remotorisierung,nach Nerven gegliedert:
a) über das ganze Patientengut (86 Nerven);
b) Mit Ausklammerung der Ergebnisse bei Kindern (73 N.)

	Nerv	Gesamtzahl	M 3+		M 3		M 2		M 1	
a)	n. med.	44	2	4%	9	21%	19	43%	14	32%
	n. uln.	40	4	10%	6	15%	16	40%	14	35%
	n. rad.	2	1		-	-	1		-	-
	total:	86	7	8%	15	17%	36	42%	28	33%
b)										
	n. med.	39	1	3%	7	18%	16	41%	15	38%
	n. uln.	33	-	-	5	15%	14	42%	14	43%
	n. rad.	1	-	-	-	-	1		-	-
	total:	73	1	1,5%	12	16,5%	31	42%	29	40%

Der für die Beurteilung der Ergebnisse wichtigen Tabelle 9b kann folgendes entnommen werden:

1) Eine vollständige Wiederherstellung der Motorik im Erwachsenenalter trat nur bei einem Patienten ein (1,5 %),einem 26-jährigen Leutnant.12 Patienten oder 16,5 % zeigten gute motorische Wiederherstellung,kräftige aber etwas verminderte Kontraktion.Diese Personen ermüden in der betroffenen Hand schneller z.B. beim Maschinenschreiben,Tragen von Lasten,.... Eine noch brauchbare,aber in stärkerem Ausmaß verminderte Motorik stellte sich in 42 % der Fälle ein.Sehr groß ist im Vergleich mit den Ergebnissen der Resensibilisierung der prozentuale Anteil der Mißerfolge (40 % gegenüber 24 %).

2) Wie auch bei den Ergebnissen der Sensibilität tritt eine funktionell vollständige Wiederherstellung der Motorik nur im Kindesalter auf.Ausnahmen bestätigen die Regel (Tabelle 10).

Tabelle 10:Altersmäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse/MOTORIK:

Alter	M 3+	M 3	M 2	M 1
- 10	6	1	1	-
11 - 15	-	3	4	-
16 - 20	-	2	7	4
21 - 25	-	4	5	6
26 - 30	1	3	5	5
31 - 35	-	1	3	2
36 - 50	-	-	9	5
51 - 65	-	-	3	6

Die Tabellen 7 und 10 über die altermäßige Aufschlüsselung der Wiederherstellungsergebnisse der Sensibilität und Motorik zeigen deutlich,daß die Prognose mit Zunahme des Alters abnimmt. Vollständige Wiederherstellung kann bis zum 10.Lebensjahr, höchstens bis zum 15. erwartet werden;gute Ergebnisse werden nur bis zum 35.Lebensjahr beobachtet;ab dem 40. Jahr Abnahme von M 2 und S 2,also der noch brauchbaren Ergebnisse,und Zunahme der Mißerfolgsquoten.
Eine vollständige Wiederherstellung von Motorik und Sensibilität (M 3+ u. S 3+) wurde bei 6 Patienten beobachtet,wobei es sich ausschließlich um Kinder unter 9 J. handelte.Gute Ergebnisse (M 3+ u. S 3;M 3 u. S 3+;M 3 u. S 3;) wiesen 8 Patienten,Kinder im Alter von 8,11,14 u. 15 J. und Erwachsene im Alter von 20,21, 25 und 30 J.,auf.

5) Trophische Störungen,Neuromschmerz,Kälteempfindlichkeit, Krämpfe,Odeme:

In 74 % der Fälle fanden sich je nach Regenerationsgrad leichte bis deutlich ausgeprägte trophische Störungen (dünne,glatte, glänzende Haut,abgeflachte oder verstrichene Papillarleisten, Wachstumsstörungen der Fingernägel,Schmerzen beim Schneiden der Nägel,verminderte Hauttemperatur).
In die Akren ausstrahlende,kribbelnde bis brennende Neuromschmerzen wurden in 35 % der Fälle beobachtet.
Uber besondere Empfindlichkeit gegenüber Kälte klagen 62 % der Patienten.Vielen war dies schlimmer als die Herabsetzung der übrigen Sensibilität,da große Kälte als heftiger Schmerz empfunden wird.Ein Patient litt an einer Uberempfindlichkeit gegenüber Hitze.
Bei 5 Patienten treten nach kurzer Muskelbeanspruchung Krämpfe in der entsprechenden Muskulatur auf,z.B. beim Autofahren.
Diese Krämpfe wie die Odeme,die 3 Patienten zuweilen nach schwerer Arbeit beobachten,fanden sich nur bei n. med.-Läsionen.

6)Gefühlsdissoziationen:

Insgesamt 4 Patienten werden von diesem seltenen Phänomen behindert.Dreimal trat es nach n. med.-,einmal nach n. uln.-Naht auf.Je ein Patient verspürt eine Reizung an der Daumenkuppe als von D 2 bzw. D 3 kommend.Ein Patient nimmt Schmerzen,die am Zeigefinger gesetzt werden,am Mittelfinger wahr.Beim vierten werden Empfindungen von D 4 in D 5 wahrgenommen.Keiner der Patienten konnte sich bisher an diese Gefühlsdissoziation gewöhnen.

Um alle die die Ergebnisse der Statistik beeinflussenden und störenden Faktoren auszuschließen,wurde schon in den vorhergehenden Darstellungen versucht,nicht ein Pauschalergebnis zu liefern,sondern z.B. immer zwischen den Resultaten von Nervennähten in Höhe des Handgelenks und Unterarms und denen im Bereich der Handfläche und der Finger zu differenzieren.
In den nun folgenden kurzen Kapiteln soll auf die Ergebnisse der rein sensiblen Nervennähte im Bereich der Handfläche und Finger,

auf die Ergebnisse bei Nervennaht im Kindesalter und bei kombinierten Nervenverletzungen getrennt eingegangen werden.

I. Fingernerven

Diese Untersuchung umfaßt die Ergebnisse von 51 Verletzungen sensibler Nerven an Fingern und im Hohlhandbereich,durchgeführt mit feinster epineuraler Naht.

Mehrfachverletzungen fanden sich nur im Bereich der ersten drei Finger;einmal waren 4,fünfmal 3 und dreimal 2 Fingernerven an einer Hand durchtrennt.

Bis auf eine Nervennaht wurden alle (50) sekundär versorgt,wobei 83 % innerhalb der ersten 6 Monate operiert werden konnten.

Auffallend ist,daß bei den Fingernervenverletzungen die Frauen mit 18 Fingernervennähten gegenüber 33 bei Männern einen relativ hohen Prozentsatz (35 %) einnehmen.Das dürfte auf die vielen Verletzungsmöglichkeiten im Haushalt zurückzuführen sein, die häufiger zu Läsionen der Finger führen.Meistens sind Bierflaschen,Kreissägen,Bohrmaschinen und Messer die Unfallursachen.

Hervorzuheben ist auch die hohe Zahl von begleitenden Sehnendurchtrennungen (80 %).

schwere Sehnenverletzung: 19
leichte Sehnenverletzung: 22

zusammen: 41 = 80 %

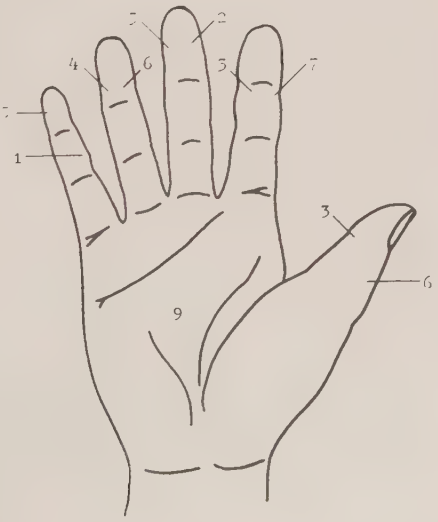


Abb. 13. Lokalisation der Fingernervenverletzungen.

Die Lokalisation der Verletzungen zeigt,daß gerade die für die taktile Gnose der Hand wichtigen Finger und Regionen am häufigsten betroffen sind.

Ergebnisse:

1) Die Wiederkehr des jeweiligen Sensibilitätsgrades wurde nach 8 Monaten erreicht.

2) Tabelle 11: Ergebnisse der Resensibilisierung (Finger u. Palma)

a) Ergebnisse,total: 51 Patienten:

S 3+ :	5	10%	28%	voller Erfolg
S 3 :	8	18%		
S 2 :	27	53%	53%	befriedigendes Ergebnis
S 1 :	11	19%	19%	Mißerfolg

b) Ergebnisse ohne Kinder: 47 Patienten:

S 3+ :	2	4%	19%	voller Erfolg
S 3 :	7	15%		
S 2 :	27	57%	57%	befriedigendes Ergebnis
S 1 :	11	24%	24%	Mißerfolg

Für die weitere Erörterung wurden die letzteren Resultate (Tabelle 11 b) verwendet,bei denen die Ergebnisse der Kinder unter 14 Jahren eliminiert wurden.
9 Patienten,das sind 19 %,konnten mit vollem Erfolg operiert werden.Zwei Patienten,ein 15-jähriges Mädchen und ein 19-Jähriger,zeigten volle Wiederherstellung der taktilen Gnose.Der Zwei-Punkte-Unterscheidungstest nach WEBER brachte 7 bzw. 4 mm. Bei den übrigen 7 konnte ein funktionell ausreichendes Fingerspitzengefühl festgestellt werden.In 57 % der Fälle stellte sich eine Schutzsensibilität mit Empfindung für Berührung und Schmerz,aber fehlender taktiler Gnose ein.24 % oder 11 Nervennähte brachten keinen Erfolg.
Die altermäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse bestätigt die Abhängigkeit des Operationserfolges vom Alter.Unterschiede in den Resultaten zwischen den Fingernerven des n. uln. und des n. med. konnten nicht festgestellt werden.
3) Störungen in der Berührungsempfindlichkeit (Par-,Hyper-,Hypästhesien wurden in 39 von 51 Fällen beklagt (76 %).
Leichte trophische Störungen fanden sich in 38 Fällen (74%).

14 Nervennähte (27 %) verursachten Neuromschmerzen.

II. Nervennahtergebnisse im Kindesalter

Wir können in unserer Serie über 17 Nervennähte bei 12 Patienten berichten,deren Alter zwischen 5 und 14 Jahren liegt.
11 Nervennähte bei Knaben stehen 6 bei Mädchen gegenüber.
Die Unfälle ereigneten sich zu 70 % in den Ferien,beim Spielen oder Fußballspielen oder,wenn die Kinder eine Besorgung zu erledigen hatten (Bierholen!).
So verursachten in je 4 Fällen Bierflaschen,Glastüren oder Fenster,in die die Kinder stürzten,ausgedehnte Schnittwunden mit den entsprechenden Nervendurchtrennungen.In zwei Fällen,einer kombinierten n. med.- und n. uln-Verletzung,war eine Sense, in einem anderen Fall eine Radiustrümmerfraktur die Ursache.
Sehnen waren in 13 Fällen mitbeteiligt an den Verletzungen.
Bei 3 Patienten waren n. med. und n. uln. gemeinsam durchtrennt; ein Mädchen verletzte sich drei Nerven (Fingernerven) an einer Hand.
Betroffen waren die Nerven: n. med.: 8 -mal;
n. uln.: 8 -mal;
n. rad.: 1 -mal;
Die Nervendurchtrennungen zeigten folgende Lokalisierung:

li: 6 re: 11

	re	li
Finger:	3	1
Handgelenk:	7	2
Unterarm:	-	3
Ellenbeuge:	1	-

Nervennaht:
In 2 Fällen wurde eine primäre,in den übrigen 15 eine sekundäre Versorgung vorgenommen.Von den 15 Sekundärnähten wurden 11 (73 %) innerhalb der ersten 6 Monate nach der Verletzung durchgeführt,zwei erst nach 11,weitere zwei nach 20 Monaten.

Ergebnisse:
Die durchschnittliche Zeitdauer bis zum Auftreten deutlicher Besserung betrug 3,5 - 4 Monate (nach Sekundärnaht).

Tabelle 12: Ergebnisse der Resensibilisierung (Kinder):

S 3+	:	9	15	53 %	88 %	voller Erfolg
S 3	:	6		35 %		
S 2	:	2		12 %	12 %	befriedigendes Ergebnis

Tabelle 13: Ergebnisse der Refunktion der Motorik (Kinder):

M 3+	:	5	10	38 %	76 %	voller Erfolg
M 3	:	5		38 %		
M 2	:	3		24 %	24 %	befriedigendes Ergebnis

Die Wiederkehr der taktilen Gnose und der Motorik zeigt bei Kindern allgemein hervorragende Ergebnisse.
In unserer kleinen Serie wurde in 53 % eine völlige Wiederkehr der taktilen Gnose, in 35 % eine funktionell ausreichende taktile Gnose erzielt. Bei einem 13-jährigen Jungen mit kombinierter n. uln.- und n. med.-Verletzung konnte nur Schutzsensibilität erreicht werden. Ein hemmender Faktor scheint sein Alter und das Zeitintervall zwischen Verletzung und Operation (11 Monate) gewesen zu sein.
Die Motorik zeigte in 76 % der Fälle ein recht gutes Ergebnis. Einige von den jungen Patienten können gut Klavier spielen oder sind gerade dabei, Maschine schreiben zu lernen. Bei 3 Patienten wurde nur eine befriedigende Motorik gefunden, bei einem 14-jährigen Mädchen, dem oben schon erwähnten Jungen (13 J.) und einem 11-Jährigen.
Daraus folgt, daß nach dem 10. Lebensjahr die Aussichten auf vollständige Wiederherstellung der taktilen Gnose und der Motorik vermindert sind. Ein wichter Faktor ist außerdem die Zeit zwischen Verletzung und Nervennaht (M 2 : 11 Mo, 20 Mo, Primärnaht).
Leichte trophische Störungen zeigten sich in 7 Fällen, 2 Patienten klagten über Neuromschmerzen.

III. Kombinierte Nervenverletzungen

Hierbei handelt es sich ausschließlich um n. med.- und n. uln.-Verletzungen am Handgelenk oder Unterarm bei 14 Patienten (12 Männern und 2 Frauen).

Lokalisation der Verletzungen:

	re	li			
Handgelenk:	4	2	zusammen:	re: 9	li: 5
Unterarm:	5	3			

Bei 11 Patienten handelte es sich um glattrandige,saubere Schnittverletzungen (Glastüren und -fenster);die restlichen drei erlitten ausgedehnte Hautdefekte.
In allen Fällen waren mehrere Sehnen mit durchtrennt,die art. rad. oder uln. in 7 Fällen.

Nervennaht:
Dreimal wurde eine Primärnaht,elfmal eine Sekundärnaht durchgeführt.Bei 45 % oder 5 Patienten konnten die durchtrennten Nerven innerhalb der ersten 6 Monate nach der Verletzung genäht werden,bei 3 erst nach einem Jahr,weitere drei kamen erst nach 20 Monaten zur Operation.
Die Nachbehandlung war bei diesem Personenkreis besonders intensiv.12 Patienten wurden durchschnittlich 6 Monate lang zweimal in der Woche elektrisch stimuliert,alle Patienten waren mindestens 7 Monate in krankengymnastischer Behandlung.

Tabelle 14: Ergebnisse der Resensibilisierung (komb. Nervenverl.) mit Ausschluß der Kinder (3):

	n. med.	n. uln.	total
S 3+	-	-	-
S 3	-	1	4,5%
S 2	8	6	63,5%
S 1	3	4	32 %

Tabelle 15: Ergebnisse der Wiederherstellung der Motorik (komb. Verl. des n. uln. und n. med.)mit Auschluß d. Kinder:

	n. med.	n. uln.	total
M 3+	-	-	-
M 3	1	1	9 %
M 2	6	3	41 %
M 1	4	7	50 %

Trophische Störungen zeigten sich bei 11 von 14 Patienten (78 %), Neuromschmerzen verursachten 8 Nervennähte;Kälteempfindlichkeit

beklagten 9 von 14 Patienten.
Vergleicht man die Ergebnisse mit denen der Gesamtstatistik (Tabellen 6 und 9),so fällt die ungünstige Prognose nach kombinierten Nervendurchtrennungen auf.Fast jeder Tabellenwert ist um 10 Einheiten schlechter eingestuft.Das hat seine Ursache in folgenden die Nervennahtergebnisse beeinträchtigenden Faktoren: schwere Nebenverletzungen (in 7 Fällen schwere Arteriendurchtrennungen),teilweise große Überbrückungsdefekte (10 cm,8 cm,7 cm),großes Zeitintervall zwischen Verletzung und Operation (dreimal 1 Jahr,dreimal 20 Monate).In drei Fällen wurde zur Besserung der Gebrauchsfähigkeit der Hand eine Opponensplastik durchgeführt.

D i s k u s s i o n

I. Diskussion der Ergebnisse der Gesamtstatistik

1) Am Anfang soll ein Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Autoren stehen,die ihr Krankengut entweder auch nach funktionellen Gesichtspunkten oder ähnlich strengen Methoden beurteilt haben.Wir verwenden hierbei die Ergebnisse unserer Totalstatistik,da in den Statistiken der anderen Autoren die Resultate bei Kindern nicht getrennt angeführt wurden.Um bessere Vergleichsmöglichkeiten zu haben,fügen wir die von den Kinderergebnissen gereinigten Werte in Klammern bei.
Zu den angeführten Prozentwerten der englischsprachigen Autoren sei noch gesagt,daß sie erst auf unser System umgerechnet werden mußten und deshalb geringfügige Fehler beinhaltet sein können.
BUNNELL,der seine Patienten nach subjektiven Methoden nachuntersuchte,berichtet über sehr gute sensible und motorische Wiederkehr.Sämtliche Autoren jedoch,die den funktionellen Gebrauchswert der Hand als Kriterium für erfolgreiche Wiederherstellung ansehen,sprechen von weniger guten bis schlechten Ergebnissen (MOBERG,SEDDON,WEDDELL,ZACHARY,ZRUBECKY, u.a.).

Tabelle 16: Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Autoren

a) Sensibilität

Autor	S 3+	S 3	S3+/S3	S 2	S 1
FLYNN,FLYNN	1,5%	18,5%	20%	50%	30%
ZACHARY	4,5%	30%	34,5%	15%	50,5%
SAKELLARIDES	7%	22%	29%	44%	27%
SEDDON	-	10%	10%	61%	29%
BOSWICK,SCHNEEWIND,STROMBERG	14%		87%		13%
STROMBERG, MCFARLANE, BELL,KOCH, MASON	9%		81%		
CARSTENSEN			25-30%	70-75%	
unsere Ergebnisse:					
mit Kindern:	10%	16,5%	26,5%	52%	21,5%
(ohne Kinder:	2%	16%	18%	58%	24%)

b) Motorik

Autor	M 3+	M 3	M3+/M3	M 2	M 1
FLYNN,FLYNN	3,5%	11,5%	15%	45%	35%
ZACHARY	-	5,5%	5,5%	47,5%	47%
SAKELLARIDES	7%	20%	27%	31%	42%
SEDDON	-	20%	20%	39%	41%
unsere Ergebnisse:					
mit Kindern:	8%	17%	25%	42%	33%
(ohne Kinder:	1,5%	16,5%	18%	42%	40%)

MOBERG sagte 1957:"Nur nach sehr wenigen Nervennähten,sogar unter günstigsten Bedingungen,kann eine normale Sensibilität mit Zwei-Punkte-Diskrimination erzielt werden.Diese Patienten werden keine taktile Gnose haben.Nur in sehr wenigen von unseren Fällen haben wir normale Ninhydrinabdrücke oder eine Zwei-Punkte-Diskrimination von 10 bis 15 mm oder besser erreichen können.Ein weniger düsteres Bild zeigte sich nur bei Kindern" (zitiert nach ZRUBECKY).

Ein Blick auf die erste Spalte von Tabelle 16 zeigt den sehr geringen prozentualen Anteil vollständiger Wiederherstellung der taktilen Gnose und der Motorik.Bei den Erfolgsquoten dürfte es sich fast ausschließlich um die Ergebnisse von Kindern handeln.Man beachte die rapide Verminderung unserer Erfolge nach Eliminierung der Kinderergebnisse.Eine funktionell ausreichende taktile Gnose und Motorik (S 3/M 3) kann durchschnittlich in 15 - 20 % erzielt werden,so daß in 20 - 25 % der Fälle ein guter Erfolg nach Nervennaht erreicht werden kann.

Befriedigende Ergebnisse (S 2/M 2) können im Durchschnitt bei der Sensibilität (Schutzsensibilität) in 50 %,bei der Motorik in 40 % der Fälle erwartet werden.Die Mißerfolgsquote liegt bei der Sensibilität bei 21,5 %,bei der Motorik fast doppelt so hoch,nämlich bei 40 %!

Diese hohe Zahl an Mißerfolgen,die durch eine Reoperation nur geringfügig gesenkt werden kann,fordert in schweren Fällen die Durchführung einer sensiblen oder motorischen Ersatzoperation (NUSSBAUM-BUNNELL-Plastik,Plastik nach BRAND,Opponensplastik, Indicissehnenplastik,Sehnen-T-Operation nach BUNNELL).Dadurch kann in vielen Fällen eine Funktionsbesserung (Spitzgriff) erzielt werden.

2) Da die Ergebnisse nach Nervennaht,wie später noch gezeigt wird,in Friedenszeiten hauptsächlich vom Alter des Betroffenen abhängig sind,und eine vollständige Wiederherstellung der taktilen Gnose und Motorik nur bis zum 10.,allenfalls 14. Lebensjahr zu erwarten ist,die altersmäßige Verteilung in unserer Serie (Abb.14.) aber vom 20. bis zum 30. Jahr ihren

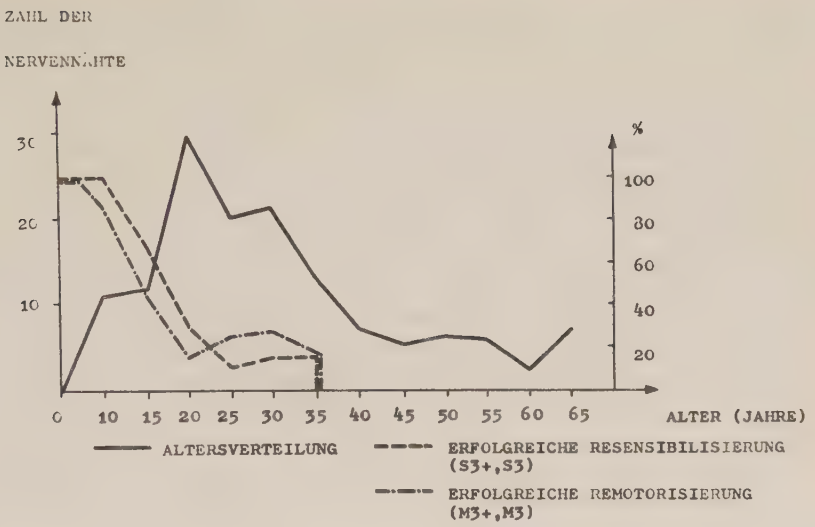


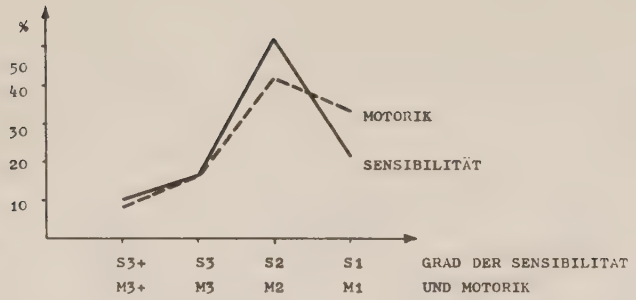
Abb. 14. Altersverteilung der 141 Nervennähte mit den Kurven erfolgreicher Resensibilisierung (S 3+/S 3) und Remotorisierung (M 3+/M 3).

Gipfel hat,wird es wohl nie zu einer wesentlichen Besserung der Erfolgsquote (S 3+,S 3,M 3+,M 3) kommen.

II. Diskussion der Nahtergebnisse bei Fingernerven

Einen Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Autoren zeigt Tabelle 17:

Autor	S 3+/S 3	S 2	S 1
ZRUBECKY	25,2%	74,8%	
NEEF	-	95%	5%
CARSTENSEN	25-30%	70-75%	
unsere Ergebnisse:			
mit Kindern:	28%	53%	19%
(ohne Kinder:	19%	57%	24%)



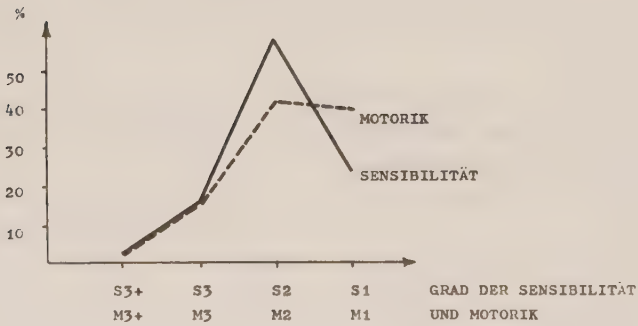


Abb. 15. Vergleichende Darstellungen SENSIBILITÄT / MOTORIK nach Nervennaht;
oben: unter Berücksichtigung der Nervennahtergebnisse bei Kindern;
unten: ohne die Nervennahtergebnisse bei Kindern;
Die Abbildungen zeigen, daß die sensible Wiederherstellung bessere Prozentzahlen, also ein besseres Ergebnis erreicht als die motorische.

Im Gegensatz zu BUNNELL,der ohne genaue Zahlenangaben über gute Regeneration nach Fingernervennaht berichtet (Beurteilung nach subjektiven Sensibilitätstesten!),äußern sich SEDDON und MOBERG eher pessimistisch;letzterer sagt:"Mit der Naht von Fingernerven bin ich nicht in der Lage gewesen,irgendeine taktile Gnose wiederherzustellen.Was wir manchmal erreicht haben,ist eine Schutzsensibilität,aber nicht viel mehr." (zitiert nach ZRUBECKY).
MILLESI,der bei Erwachsenen durchtrennte Fingernerven mit Nerventransplantaten wiederherstellte,berichtet hingegen,daß in 15 von 16 Fällen eine befriedigende Zwei-Punkte-Diskriminierung (meist unter 10 mm) erreicht werden konnte.ZRUBECKY erzielte in 25,2 % eine funktionell ausreichende Wiederherstellung des Fingerspitzengefühls;völlige Wiederkehr der taktilen Gnose fand er nur bei Kindern unter 10 Jahren,und zwar in 8,69 % seiner Reihe.
Unsere Ergebnisse nähern sich denen von ZRUBECKY und CARSTENSEN. Völlige Wiederherstellung konnte bei einem Kind (drei Fingernerven),einem 15-jährigen Mädchen und einem 19-Jährigen erzielt werden (10 %).Funktionell ausreichende taktile Gnose (bis 15 mm im Zwei-Punkte-Unterscheidungstest) zeigten 8 Patienten,von denen der älteste eine 33-jährige Frau war. Bei der großen Zahl der Patienten mit Schutzsensibilität (53 %) muß berücksichtigt werden,daß ein hoher Prozentsatz das Alter einer guten Regeneration bereits überschritten hatte (über 10 Jahre).
Der Vergleich der Ergebnisse der Fingernerven mit denen von Nervennähten in Höhe des Handgelenks oder Unterarms zeigt,daß das Resultat desto besser ist,je distaler die Verletzung liegt.

Da eine Spontanheilung nicht eintritt und eine Überlappung vom gesunden benachbarten Nerv nicht oder nur sehr selten vorkommt (ZRUBECKY),muß ein durchtrennter Nerv bis in die Höhe des Endgliedes genäht werden.Dabei ist die Primärnaht der Sekundärnaht vorzuziehen (ZRUBECKY,STRELI,NEEF,CARSTENSEN),da erstens die Zeit bis zur Wiederkehr der Sensibilität bei der Primärnaht halb so lang ist wie bei Sekundärnaht (8 Monate),und zweitens ein weiterer operativer Eingriff vermieden werden kann.Warum

in unserer Serie fast ausschließlich die Sekundärnaht durchgeführt wurde,ist schon erwähnt worden.Außerdem entfernen sich auf Grund der Elastizität des Nervs die durchtrennten Nervenendstücke immer weiter von einander,so daß in sehr vielen Fällen nach der Neuromresektion und Anfrischung eine Nervennaht nicht mehr möglich ist.Beim Studium der Krankengeschichten entdeckte ich 16 Patienten,bei denen eine Nervennaht wegen zu großen Defektes nicht mehr möglich war.Diese Patienten machen 24 % des gesamten Krankengutes aus.

51 Patienten dieser Untersuchung Nervennaht möglich	=	76 %
16 Patienten Naht des durchtrennten Fingernervs nicht durchführbar	=	24 %
67 Patienten	=	100 %

Aus diesem Grunde empfiehlt sich die Primärnaht oder - wenn nicht durchführbar - wenigstens eine provisorische Adaption der Nervenenden mit schwarzer Seide.
Rechnet man diese 24 % zu den rund 20 % Mißerfolgen nach Nervennaht,so ergibt sich eine sehr hohe Zahl von Patienten, denen nicht mehr geholfen werden kann.
In solchen Fällen ist die sensible Ersatzoperation nach ZRUBECKY mit Verpflanzung eines neurovaskulären gestielten Hautlappens oder in schweren Fällen die Amputation des Endgliedes und Herstellung eines sensiblen Stumpfes (CARSTENSEN) zu erwägen.

III. Diskussion der Nahtergebnisse bei Kindern

Es ist von großer Wichtigkeit,bei Berichten über Nervennahtergebnisse die Resultate der Kinder aus der Totalstatistik auszuklammern,da durch die sehr guten Ergebnisse im Kindesalter das Bild über die Nützlichkeit und Brauchbarkeit neuer vorgeschlagener Methoden u.s.w. verfälscht wird.Daher ist bei jeder Statistik,die glaubwürdig erscheinen will,eine altersmäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse zu fordern.Denn nur dann ist eine gute Vergleichsmöglichkeit gegeben.

In den Veröffentlichungen von NICHOLSON und SEDDON;SAKELLARIDES; STROMBERG,MCRARLANE,BELL,KOCH und MASON u. a. wird betont, daß die Naht peripherer Nerven im Kindesalter eine wesentlich bessere Prognose hat als die im Jugend- oder Erwachsenenalter, obwohl die gleiche Technik angewandt und mit der gleichen Erfahrung operiert wird.
NICHOLSON und SEDDON berichten,daß bei 23 n. med.- und n. uln.-Nähten (Alter der Patienten bis 10 J.) in allen Fällen angemessene sensible Wiederherstellung erzielt werden konnte. Nur ein Patient zeigte schlechte motorische Wiederherstellung. Arbeiten,die sich nur mit den Ergebnissen von Nervennähten bei Kindern befassen,veröffentlichten bisher nur MCEWAN und LINDSAY, WALKER und FARMER.Ihre Ergebnisse und die von SAKELLARIDES zeigen ein ähnliches Bild wie unsere Resultate.

Tabelle 17: Ergebnisse nach Nervennaht bei Kindern

a) Sensibilität

Autor	Gesamtzahl	S 3+	S 3	S 3+/S 3	S 2	S 1
MCEWAN	54	61 %	26 %	87 %	-	13 %
LINDSAY,WALKER, FARMER	54	74 %	20 %	94 %	6 %	-
SAKELLARIDES	42			81 %	19 %	
unsere Ergebnisse:	17	53 %	35 %	88 %	12 %	-

b) Motorik

Autor	Gesamtzahl	M 3+	M 3	M 3+/M 3	M 2	M 1
MCEWAN	50	36 %	46 %	82 %	14 %	4 %
LINDSAY,WALKER, FARMER	25	56 %	40 %	96 %	4 %	-
SAKELLARIDES	42			81 %	19 %	
unsere Ergebnisse:	13	38 %	38 %	76 %	24 %	-

Bei den Ergebnissen von LINDSAY,WALKER und FARMER muß berücksichtigt werden,daß das Durchschnittsalter dieser Patienten bei 5 Jahren und 7 Monaten liegt,während das unserer Patienten genau 10 Jahre beträgt.

Bei Betrachtung der Altersverteilung fällt in unserer Serie auf, daß sich nach dem 10. Lebensjahr die Aussicht auf eine vollständige Regeneration mit entsprechender Wiederherstellung der taktilen Gnose und Motorik vermindert.
Eine weitere Besonderheit ist die kürzere Regenerationszeit nach Nervennaht bei Kindern.Wir erhielten einen Durchschnittswert von 3,5 - 4 Monaten nach Sekundärnaht. Zu diesem Zeitpunkt war schon eine wesentliche Besserung eingetreten. MCEWAN; LINDSAY,WALKER,FARMER;STROMBERG,MCFARLANE,BELL,KOCH und MASON machten dieselbe Erfahrung.
MCEWAN berichtet über einen Fall von n. uln.-Durchtrennung, bei dem nach 6 Monaten nach der Nervennaht eine komplette Wiederherstellung erreicht war.
Bei Kindern ist es äußerst wichtig,die Nervennaht so bald wie möglich durchzuführen,auch begleitende Sehnenverletzungen,da bei längerem Zeitintervall zwischen Verletzung und Operation die betroffenen Finger im Wachstum zurückbleiben.Wir beobachteten dies bei einem Jungen,dessen n. uln. erst 11 Monate nach der Verletzung genäht werden konnte.
Außerdem stellten wir fest,daß bei Kindern Neurome seltener auftreten als bei Erwachsenen.

Die Nervennaht beeinflussende Faktoren

Mit zunehmender Länge des Defektes (P.N.I.-Report;SEDDON; SAKELLARIDES) und wachsendem Ausmaß der Mobilisierung (SEDDON) sinkt die Aussicht auf erfolgreiche Wiederherstellung nach Nervennaht.Auf Grund des zu geringen Materials muß auf eine genauere Diskussion dieser Faktoren verzichtet werden. Weitere entscheidende Faktoren sind:

1. Alter

Es ist eine bekannte Tatsache,daß das Alter der Patienten einer der wichtigsten Faktoren für den Erfolg nach Nervennaht in Friedenszeiten ist (SEDDON und NICHOLSON;SAKELLARIDES; STROMBERG,McFARLANE,BELL,KOCH,MASON;WAKEFIELD;McEWAN;u.a.).

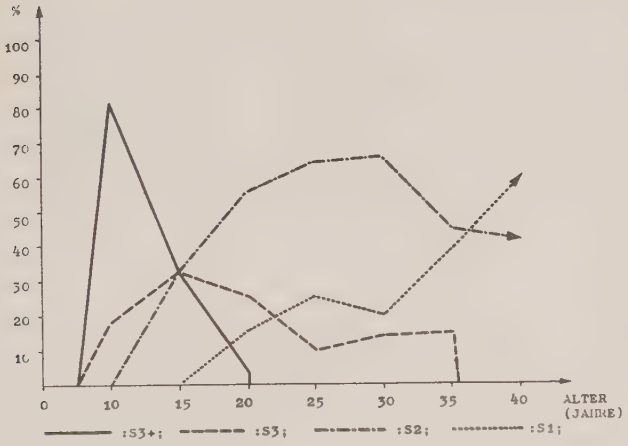


Abb. 16. Abhängigkeit der Grade der Resensibilisierung (S 3+,S 3,S 2,S 1) vom Alter der Patienten.

Wie die altersmäßige Aufschlüsselung für Sensibilität und Motorik (Tabelle 7 und 10) und deren graphische Darstellung (Abb. 16. und 17.) zeigen,treten sehr gute Ergebnisse (S 3+,M 3+) mit einigen wenigen Ausnahmen nur bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr auf.Die Kurven der guten Ergebnisse (S 3,M 3) haben ihre Gipfelpunkte im 15. Lebensjahr;jenseits des 35. Jahres fanden wir keine funktionell guten Ergebnisse mehr.
Erst nach dem 10. Lebensjahr treten die noch befriedigenden Ergebnisse (S 2,M 2) in Erscheinung,bestimmen dann das Feld zwischen dem 20. und 35. Jahr und zeigen danach fallende Tendenz, während die Mißerfolgsquoten (S 1,M 1),die erst jenseits des 15. Lebensjahres auftreten,beständigen Anstieg verzeichnen.

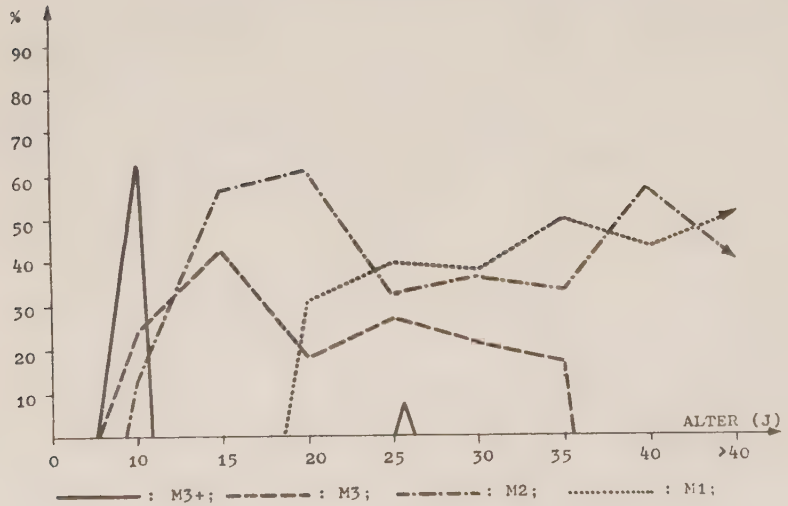


Abb. 17. Abhängigkeit der Grade der motorischen Wiederherstellung (M 3+,M 3,M 2,M 1) vom Alter der Patienten.

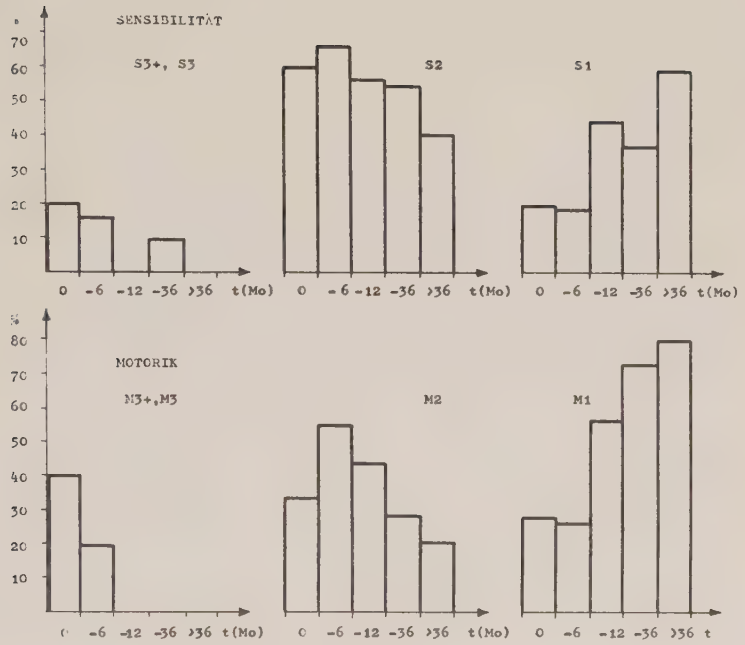


Abb. 18. Abhängigkeit des Grades der sensiblen und motorischen Refunktion vom Zeitraum zwischen Nervendurchtrennung und Nervennaht.

2. Zeitintervall zwischen Verletzung und Nervennaht

(Abb. 18.)

Im P.N.I.-Report wurde gezeigt,daß ein Zeitintervall von bis zu 6 Monaten zwischen Verletzung und Wiederherstellungsoperation für die nachfolgende Regeneration nicht von Nachteil ist. Eine Verzögerung über diese Grenzmarke hinaus gefährdet das Operationsergebnis (NICHOLSON und SEDDON;SAKELLARIDES). Unsere Ergebnisse,getrennt dargestellt für Sensibilität und Motorik zeigen deutlich mit zunehmender Dauer des Intervalls eine rasche Abnahme der sehr guten und guten Ergebnisse (S 3+,S 3,M 3+,M 3),die bei der Primärnaht am besten sind,schon nach 6 Monaten.
Die brauchbaren Resultate (S 2,M 2) nehmen schrittweise ab, je länger die Nervenwiederherstellung hinausgeschoben wird. Entsprechend steigen die Werte der Mißerfolge (S 1,M 1) sprunghaft an und erreichen bereits in der Zeit vom 7. bis 12. Monat für die Sensibilität 44 %,die Motorik 56 %!
Dennoch sollte auch nach dieser Zeit eine späte Nervennaht durchgeführt werden,da man weiß,daß auch dann noch zuweilen gute Ergebnisse erreicht werden können.In unserer Serie wurde bei einem 8 -jährigen Jungen nach 20-monatigem Aufschub an n. med. und . uln. die Wiederherstellungsnaht durchgeführt. Zwei Jahre später zeigte der n. uln. brauchbare (M 2),der n. med. gute (M 3) Motorik.Beide Nerven verzeichneten eine erfolgreiche Wiederherstellung der taktilen Gnose (S 3+,S 3).

3. Höhe der Verletzung

Der P.N.I.-Report konnte dank der großen Zahl der ausgewerteten Nervennahtergebnisse zeigen,daß die mehr distal gelegenen Nervennähte eine günstigere Prognose gegenüber den proximalen haben.

Ein Vergleich der Ergebnisse bei Fingernervennaht mit den Resultaten der Nervennaht in Höhe des Handgelenks und Unterarms bestätigt diese Annahme.

Tabelle 18:

Höhe der Verletzung	S 3+	S 3	S 3+/S 3	S 2	S 1
Finger,Palma	4 %	15 %	19 %	57 %	24 %
Handgelenk,Unterarm	-	17 %	17 %	59 %	24 %

4. Nachbehandlung

Ein wichtiger Faktor scheint bei Kindern über 10 Jahren, Jugendlichen und Erwachsenen die Intensität,Konsequenz und Dauer der Nachbehandlung zu sein.Dazu ist eine ausdauernde, geduldige und willensstarke Persönlichkeit notwendig,die auch bei längerem Ausbleiben der Regenerationszeichen noch auf einen Erfolg hofft.Ein Beispiel aus unserem Krankengut mit ungewöhnlich guten Ergebnissen soll diese Annahme stützen.
Ein 26-jähriger Offizier,der sich am rechten Handgelenk beim Sturz in eine Glasscheibe den n. med. und mehrere Beugesehnen durchtrennte und dessen Nerv nach 3 Monaten genäht wurde, zeigte 2 1/2 Jahre nach der Nervennaht eine funktionell ausreichende taktile Gnose (S 3,Zwei-Punkte-Unterscheidungstest: 10 mm;alle weiteren Tests:positiv) und eine vollständige Wiederherstellung der Motorik (M 3+,EMG: nahezu Interferenzmuster,reichliche Reinnervation).
Dieses Ergebnis erreichte der Patient durch konsequente Bewegungstherapie über 14 Monate.Außerdem betreibt der Patient sehr viel Sport (nach 20 Klimmzügen ermüdet die betroffene Hand).

Zusammenfassung

In den ersten Kapiteln des einführenden Teiles wird die Anatomie der drei großen Armnerven mit ihren Versorgungsgebieten und Anastomosenbildungen aufgezeigt,außerdem die Symptomatik nach Durchtrennung dieser Nerven.Nach Darlegung der Histologie wird auf die pathologischen Erscheinungen nach Läsion peripherer Nerven eingegangen,die WALLERsche und retrograde Degeneration und die Regenerationsvorgänge nach Nervennaht.
Breiten Raum nimmt das Problem der Nervennaht ein.Neben der klassischen,epineuralen Naht werden die in den letzten Jahren empfohlenen Vorschläge zur Besserung der Nahttechnik diskutiert, u.a. die Mikrochirurgie,die "intraneurale Topographie" und das Problem der genügend weit reichenden Resektion.Anschließend werden die Versuche,die Bindegewebsproliferation zu hemmen oder zu unterdrücken,erwähnt.Einige Schlagworte:Umscheidung mit Millipore,Plasmanaht,perineurale Nahttechnik,Tubulisation, Nervennaht mit Klebstoff.Am Ende des allgemeinen Teiles wird das Problem der spannungsfreien Naht angesprochen und auf die in jüngster Zeit sehr erfolgversprechende Methode der Defektüberbrückung mit lyophilisiertem Nerv eingegangen.
Die Nachuntersuchung erfaßt 141 Nervennähte bei 110 Patienten, durchgeführt in der Zeit von 1964-1970 an der Chir.Universitätsklinik München.Die Bewertung erfolgte hauptsächlich nach funktionellen Gesichtspunkten.Die taktile Gnose wurde an Hand der Ergebnisse des Ninhydrin-Tests,des Zwei-Punkte-Unterscheidungstests,des Auflesetests und des funktionellen Münzentests, die Motorik mit Hilfe des EMG-Befundes und der Überprüfung der Muskeltätikeit (Grifformen und Kraft) beurteilt.
Der n. med. war der am häufigsten betroffene Nerv (59%),gefolgt vom n. uln. (37%) und n. rad. (4%).Die häufigsten Unfallarten waren Arbeits- und hauswirtschaftliche Unfälle.Verursacht wurden die Verletzungen in 58% durch Glas,in 39% durch Maschinen,Werkzeuge oder scharfe Gegenstände aus Metall.Der Häufigkeit nach traten folgende Nebenverletzungen auf:Sehnendurchtrennungen (über 70%),Arterien- (33%),Nervenverletzungen (14 Patienten), schwere Muskelverletzungen,Frakturen.

Von den 141 Nervennähten wurden 122 sekundär,19 primär durchgeführt,was sich aus der Rolle des Zuweisungskrankenhauses ergibt.Dabei konnten über zwei Drittel innerhalb der ersten 6 Monate nach der Durchtrennung versorgt werden.Wie sehr der Patient durch eine Nervenverletzung in seiner Berufsausübung betroffen wird,zeigt die Tatsache,daß 25% der Pat. nicht nur vorübergehend die Führungshand wechselten,daß durchschnittlich 22% der Pat. einen leichteren Beruf wählen mußten und nur 42% ihren Beruf voll ausüben können.
Die Ergebnisse der Resensibilisierung (Totalstatistik) brachte in 10% eine fast vollständige Wiederherstellung (S 3+),in 16,5% ein gutes Ergebnis (S 3),52% zeigten Schutzsensibilität (S 2, noch befriedigendes Ergebnis),21,5% wurden mit Mißerfolg operiert.Die Resultate der Wiederherstellung der Motorik zeigen einen hohen prozentualen Anteil im Bereich der Mißerfolgsquote: M 3+: 8%;M 3: 17%;M 2: 42%;M 1: 33%;(Gesamtstatistik).

Von besonderer Wichtigkeit ist die altersmäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse.Sie zeigt deutlich,daß eine völlige Wiederherstellung (M3+/S3+) nur bis zum 15. Lebensjahr,gute Ergebnisse (M3/S3) bis zum 35. Lebensjahr beobachtet werden können.

Leichte bis deutliche trophische Störungen fanden sich in 74% der Fälle,Neuromschmerzen in 35%;62% klagten über Kälteempfindlichkeit;4 Patienten zeigten Gefühlsdissoziationen.

Um alle die die Ergebnisse der Statistik beeinflussenden und störenden Faktoren auszuschließen,wird in gesonderten Abschnitten über die Resultate der rein sensiblen Nervennähte im Bereich der Handfläche und Finger,die Ergebnisse bei Nervennaht im Kindesalter und bei kombinierten Nervenverletzungen berichtet.Besonders erwähnt sei zum Kapitel der Fingernervennaht,daß trotz guter Ergebnisse (S 3+: 10%;S 3: 18%;S 2: 53%; S 1: 19%;) bei einer nicht geringen Zahl von Patienten (16) wegen des zu großen Defektes eine Naht nicht mehr möglich war. Rechnet man diese Fälle zu den 19% Mißerfolgen,so ergibt das einen Anteil von 44%;diesen Patienten konnte also nicht geholfen werden.Deshalb ist hier die Primärnaht oder wenigstens die provisorische Adaption der Nervenstümpfe ratsam.
Erfreulich hingegen sind die sehr guten Ergebnisse im Kindesalter (S 3+: 53%;S 3: 35%;S 2: 12%; M 3+: 38%;M 3: 38%;M 2: 24%;)!
Um Vergleiche anstellen und Vorschläge zur Nervennaht prüfen

zu können,ist es daher notwendig,jeder Gesamtstatistik eine altersmäßige Aufschlüsselung der Ergebnisse beizufügen. Die im Vergleich zur Gesamtstatistik schlechten Ergebnisse nach kombinierten Nervenverletzungen (S 3: 4,5%;S 2: 63%; S 1: 32%; M 3: 9%;M 2: 41%;M 1: 50%;) sind zu einem großen Teil auf die schweren Nebenverletzungen zurückzuführen.

Im Anschluß daran werden die Resultate der Gesamtstatistik, die Nahtergebnisse der sensiblen Handnerven und die Ergebnisse bei Kindern diskutiert.Der Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer,nach ähnlichen Maßstäben urteilender Autoren brachte übereinstimmende Tendenz.
Zuletzt schließt sich noch eine kurze Erörterung der die Nervennaht beeinflussenden Faktoren an.Besonders auffallend ist hierbei die Abhängigkeit operativer Erfolge vom Alter; aber auch das Zeitintervall zwischen Verletzung und Nervennaht, die Höhe der Verletzung und vor allem die Nachbehandlung werden als entscheidende Faktoren angesehen.

Ich danke dem Direktor der Chirurgischen Universitätsklinik München,Herrn Professor Dr. Dr. R. Zenker, für die Erlaubnis,in seiner Klinik die nötigen Nachuntersuchungen durchführen zu können.

Herrn Oberarzt Professor Dr. F. Rueff möchte ich meinen ergebenen Dank für die Uberlassung des Themas aussprechen.

Zu besonderem Dank fühle ich mich Herrn Dr. K. Wilhelm, dem Leiter der Handchirurgischen Abteilung der Chirurgischen Universitätsklinik München,verpflichtet,dessen wertvollen Rat und Hilfsbereitschaft ich jederzeit in Anspruch nehmen konnte.

Nicht zuletzt möchte ich Herrn Dr. A. Ross von der Neurologischen Universitätsklinik München danken,der so freundlich war,die elektrophysilogischen Untersuchungen unserer Patienten durchzuführen.

Inhaltsverzeichnis

ASCHAN,E.,E.MOBERG: The ninhydrin finger printing test used to map out partial lesions to hand nerves. Acta Chir. Scand. 123 (1962),365

BABCOCK,W.: Surg. Gynec. Obstet. 45 (1927),364

BERGER,A.,J.GANGLBERGER,H.MILLESI: Experimentelle Untersuchungen zur Nervennaht mit Klebstoffen. Symposium Wien 1967. Verlag der Wiener Medizinischen Akademie 1968

BERGER,A.,H.MILLESI: Verwendung von Klebstoffen zum Verschluß von Hautwunden und zur Vereinigung durchtrennter peripherer Nerven. Symposium Innsbruck 1969. Separatum

BIELSCHOVSKY,M.,E.UNGER: Überbrückung großer Nervendefekte.Beiträge zur Kenntnis der Degeneration und Regeneration peripherer Nerven. J. Physiol. Neurol. 22 (1917),267

BODECHTEL,G.,K.KRAUTZEN: Grundriß der peripheren Nervenverletzungen. Thieme,Leipzig 1943

BÖHLER,J.: Nervennaht und homoioplastische Nerventransplantation mit Millipore-Umscheidung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962) 900

BÖHLER,J.: Weitere Erfahrungen mit der Mikrofilterumscheidung von Nervennähten und von homoioplstischen Nerventransplantaten. Langenbecks Arch. klin. Chir. 304 (1963) 944

BORA,F.W.,JR.: Peripheral nerve repair in cats. J. Bone Jt. Surg. 49-A (1967),659

BOSWICK,J.A.,JR.,J.SCHNEEWIND,W.STROMBERG: Evaluation of peripheral nerve repairs below elbow. Arch. Surg. 90 (1965),50

BOWDEN,R.E.M.,J.R.NAPIER: The assessment of hand function after peripheral nerve injuries. J. Bone Jt. Surg. 43-B (1961),481

BRAUN,R.M.: Comperative studies of neurorraphy and sutureless peripheral nerve repair. Surg. Gynec. Obstet. 122 (1966),15

BUNNELL,ST.: Die Chirurgie der Hand. Maudrich,Wien 1958

CAMPBELL,J.B.:	Diskussion am X. Kongreß der SICOT, Paris 1966
CAMPBELL,J.B.,A.L. BASSETT:	The surgical application of monomolecular filters (millipore) to bridge gaps in peripheral nerves and to prevent neuroma formation. Surg. Forum 7 (1956),570
CAMPBELL,J.B.,H.HSUBY, C.A.THUBLIN,E.F.FERINGA:	Microfilter sheaths in peripheral nerve surgery. J. Trauma 1 (1961),139
CARSTENSEN-MALENTE,E.:	Begutachtung und Wiederherstellung von Hand-Nervenverletzungen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 306 (1964),30
CARSTENSEN-MALENTE,E.:	Wiederherstellung der Ausdruckskraft der Hand als chirurgisches Problem. Med. Welt 16 (1962),837
CHASE,R.A.:	Managment of nerve injuries in the upper extremity. Surg. clin. N. Amer. 40 (1960),287
CLARK,G.L.:	A method of preparation of nerve ends for suturing. Plast. reconstr. Surg. 34 (1964),233
CLIPPINGER,F.W.,J.L. GOLDNER,J.M.ROBERTS:	Use of the electromyogram in evaluating upper-extremity peripheral nerve lesions. J. Bone Jt. Surg. 44-A (1962),1047
CURSCHMANN,H., F.KRAMER:	Lehrbuch der Nervenkrankheiten. Springer,Berlin 1925
DELANK,H.W.,N.NIKOLAI, D.TÖNNIS:	Zur Behandlung peripherer Nervenverletzungen. Med. Welt 29 (1960),1249
DUCKER,TH.B.,G.J.HAYES:	Experimental improvements in the use of silastic cuff for peripheral nerve repair. J. Neurosurg. 28 (1968),582
EDSHAGE,S.:	Peripheral nerve suture. Acta chir. scand. Suppl. 331 (1964)
EDSHAGE,S.,J.J.NIEBAUER:	Evaluation of freezing as a method to improve cut surface in peripheral nerves preparatory to suturing. Plast. reconstr. Surg. 37 (1966),196
FAUL,I.,W.HEISS,A. STRUPPLER,K.BRENDEL:	Ersatz der chirurgischen Nervennaht durch Klebstoff. Zbl. Neurochir. 26 (1965),97
FLYNN,J.E.,W.F.FLYNN:	Median and ulnar nerve injuries: A long range study with evaluation of the ninhydrin test,sensory and motor returns. Ann. Surg. 156 (1962),1002

FREEMAN,B.S.: Adhesive anastomosis technics for fine nerves.Experimental and clinical technics.
Amer. J. Surg. 108 (1964),529

FRIEDE: zitiert nach HAGER;

FOERSTER,O.: Handbuch der Neurologie
begründet von M.LEWANDOWSKY;
Ergänzungsband,herausgegeben von
O.BUMKE und O.FOERSTER,II.Teil
Berlin,Springer,1928/1929

GABRIELSSON,G.J., ST.J.STENSTRÖM: A contribution to peripheral nerve suture technique.
Plast. reconstr. Surg. 38 (1966),68

GELDMACHER,J.: Die Wiederherstellung verletzter Nerven.
Münch. med. Wschr. 52 (1969),2675

GOLOVANOV,V.D.,G.A.PAVLOVA,M.I.OSINA,N.P.KOSKIN: Experiences in homoplastic repair of injuries of peripheral nerves.
Chirurgija (Mosk.) 42,Nr.2 (1966),8

GRABB,W.G.: Median and ulnar nerve suture.An experimental study comparing primary and secondary repair in monkeys.
J. Bone Jt. Surg. 50-A (1968),964

GUTMANN,E.: Die funktionelle Regeneration der peripheren Nerven.
Akademie-Verlag,Berlin 1958

HAGER,H.: Allgemeine morphologische Pathologie des Nervensystems.
im Handbuch der allgemeinen Pathologie, herausgegeben von ALTMANN,BÜCHER et al.
Band 3,Teil 3,Springer-Verlag,
Berlin-Heidelberg-New York 1968

HEISS,W.H.,P.FAUL: "Nervennaht" mit Klebstoff.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 313 (1965),710

HOPF,H.C.: Moderne Diagnostik peripherer Nervenkrankheiten.
Münch. med. Wschr. 78 (1966),253

HÜBNER,B.,H.INTROP: Operative Ergebnisse peripherer Nervenverletzungen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),912

HYDEN: zitiert nach HAGER;

IKEDA,K.: Successful peripheral nerve homotransplantation by use of highvoltage electron irradiation.
Arch. jap. Chir. 35 (1966),679

JACOBY,W.,F.MARGUTH: Erfahrungen mit lyophilisierter Dura.
Beiträge zur Neurochirurgie,15 (1968), 122

JACOBY,W.,R.FAHLBUSCH, B. MACKERT: Transplantation lyophilisierter homoioplastischer Nerven zur Überbrückung peripherer Nervendefekte beim Menschen. Sonderdruck aus:Fortschritte der Medizin 88 (1970),183

JACOBY,W.,R.FAHLBUSCH, B.MACKERT,B.BRAUN, J.ROLLE,J.SCHNELL: Überbrückung peripherer Nervendefekte mit lyophilisierten und desantigenisierten homologen Transplantaten. Münch. med. Wschr. 112 (1970),586

JOSCHKO,H.: Funktionelle neurologische Diagnostik. Band 1: Periphere Nerven. G. Fischer,Jena 1961

KAESER,H.E.: Erregungsstörungen bei Ulnarisparesen. Dtsch. Z. Nervenheilkunde 185 (1963), 231

KOSCHITZ-KOSIC,H.: Über Chirurgie und Regeneration durchtrennter peripherer Nerven. Klin. Med. (Wien) 14 (1959),612

KOSCHITZ-KOSIC,H.: Chirurgie und Regeneration durchtrennter peripherer Nerven. VEB-Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1960

KOSCHITZ-KOSIC,H.: Zum Problem der Narbe bei der Verheilung durchtrennter peripherer Nerven. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),864

KOTTER,A.,I.MÜLLER, M.LINDEMANN: Probleme bei der Verwendung von Gewebeklebern am peripheren Nerven. Symposium Innsbruck 1969; Separatum

KRENKEL,W.: Möglichkeiten und Grenzen der operativen Behandlung peripherer Nervenschädigungen. Chir. plast. reconstruct. 3 (1967),21

KREUTZBERG u. WECHSLER: zitiert nach HAGER;

KRÜCKE,W.: Zur Morphologie der Erkrankungsformen peripherer Nervenfasern. Chir. plast. reconstruct. 3 (1967),1

LANZ,T.v.,W.WACHSMUTH: Praktische Anatomie: Der Arm. Springer,Berlin 1935

LINDSAY,W.K.,F.G.WALKER, A.W.FARMER: Traumatic peripheral nerve injuries in children. Plast. reconstr. Surg. 30 (1962),462

LOEW,F.: Die Nervennaht und die Deckung von Nervendefekten bei dem Verschluß akzidenteller und operativ gesetzter Wunden. Chir. plast. reconstruct. 6 (1969),137

LUBINSKA: zitiert nach HAGER;

MACKENZIE,I.G.,C.G. WOODS: Causes of failure after repair of the median nerve. J. Bone Jt. Surg. 43-B (1961),465

MARGUTH,F.,A.STRUPPLER: Zur Diagnostik und Therapie chronischer Druckschäden peripherer Nerven. Münch. med. Wschr. 108 (1966),1345

MARMOR,L.,R.MINER, J.M.FORSTER: Experimental prevention of nerve homograft rejection by use of immunosuppressive drugs. J. Neurosurg. 27 (1967),415

MAROS,T.,L.LAZAR: Über einige Eigenschaften der durch verschiedene Nahtmittel ausgelösten Fremdkörperreaktion in peripheren Nerven. Zbl. Neurochir. 22 (1961),93

MAURER,G.: Eingriffe an den peripheren Nerven. in: Chirurgische Operationslehre,herausgegeben von BREITNER,Band II,Heft 8; Urban und Schwarzenberg,Wien 1957

MAURER,G.: Ergebnisse nach Nervennähten. Langenbecks Arch. klin. Chir. 299 (1961/62),171

McEWAN,L.E.: Median and ulnar nerve injuries. Australian and New Zealand J. Surg. 32 (1962),89

MICHON,J.,P.MASSE: Le moment optimum de la suture nerveuse dans les plaies du membre superieur. Rev. Chir. orthop. 50 (1964),205

MIDGLEY,R.D.,F.W.WOOLHOUSE: Silicone rubber sheathing as an adjunct to neural anastomosis. Surg. clin. N. Amer. 48 (1968),1149

MIEHLKE,A.: Probleme bei der Naht der feinsten peripheren Nerven im Bereich der Oto-Laryngologie. Med. Mitt.(Melsungen) 42 (1968),71

MILLESI,H.: Klinische und experimentelle Erfahrungen bei der Wiederherstellung peripherer Nervenläsionen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),893

MILLESI,H.: Zum Problem der Überbrückung von Defekten peripherer Nerven. Wien. med. Wschr. 118 (1968),162

MILLESI,H.: Wiederherstellung durchtrennter peripherer Nerven und Nerventransplantation. Münch. med. Wschr. 52 (1969),2069

MILLESI,H.,J.GANGLBERGER, A.BERGER: Erfahrungen mit der Mikrochirurgie peripherer Nerven. Chir. plast. reconstruct. 3 (1967),47

MOBERG,E.: Diskussionsbeitrag.
J. Bone Jt. Surg. 37-A (1955),305

MOBERG,E.: Objective methods for determining the functional value of sensibility in the hand.
J. Bone Jt. Surg. 40-B (1958),454

MOBERG,E.: Evaluation of sensibility in the hand.
Surg. clin. N. Amer. 40 (1960),357

MOBERG,E.: Peripheral nerves and hand function.
J. Bone Jt. Surg. 43-B (1961),423

MOBERG,E.: Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand.
Neurology 12 (1962),8

MOBERG,E.: Aspects of sensation in reconstructive surgery of the upper extremity.
J. Bone Jt. Surg. 46-A (1964),817

MOBERG,E.: Nerve repair in hand surgery - an analysis.
Surg. clin. N. Amer. 48 (1968),985

MÖRL,F.,W.HOFMANN, G.SCHNEIDER,K.-J.AMTHOR: Zur Versorgung durchtrennter peripherer Nerven.
Chirurg 36 (1965),162

MUHEIM,G.,H.NIGST, H.R.MUELLER: Wert der funktionellen Untersuchungsmethoden nach Fingernervendurchtrennungen.
Handchirurgie 1 (1969),25

MUMENTHALER,M., H.SCHLIACK: Läsionen peripherer Nerven.
Thieme,Stuttgart 1965

MUMENTHALER,M.: Die Neurologie der Verletzung peripherer Nerven.
Chir. plast. reconstruct. 3 (1967),17

NATHANIEL u. PEASE: zitiert nach HAGER;

NEEF,H.: Die Läsionen der Fingernerven und die Ergebnisse ihrer Früh- und Spätbehandlung.
Zbl. Chir. 90 (1965),1153

NICHOLSON,O.R., H.J.SEDDON: Nerve repair in civil practice (results of treatment of median and ulnar nerve lesions).
Brit. med. J. 2 (1957),1065

NIGST,H.: Die Chirurgie der peripheren Nerven.
Thieme,Stuttgart 1955

NIGST,H.: Freie Nerventransplantationen und Cortison.
B. Schwabe,Basel 1957

NIGST,H.: Operative Behandlungsmöglichkeiten bei Erkrankung und frischen Verletzungen peripherer Nerven.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),855

ÖNNE,L.: Recovery of sensibility and sudomotor activity in the hand after nerve suture. Acta chir. scand. Suppl. 300 (1962)

OMER,G.E.: Evaluation and reconstruction of the forearm and hand after acute traumatic peripheral nerve injuries. J. Bone Jt. Surg. 50-A (1968),1454

PERL,J.I.: Sustained,locally-applied beta radiation in experimental nerve repair. Int. Surg. 46 (1966),419

PERL,J.I.,R.J.WAGNER: Intrathoracic phrenic nerve repair. Journal of the International College of Surgeons 44 (1965),171

PETROV,M.,TR.SOLAROV: Nervenautoplastiken.Erfahrungen mit 113 Verletzungen peripherer Nerven. Münch. med. Wschr. 108 (1966),752

PIOTROWSKI,W.: Zum Problem der Nervennaht.Erfahrungen an über 270 Patienten. Chir. plast. reconstruct. 3 (1967),56

REIN,H.,M.SCHNEIDER: Physiologie des Menschen. Springen,Berlin 1961

SAKELLARIDES,H.: A follow-up study of 172 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians. J. Bone Jt. Surg. 44-A (1962),140

SCHAAF,F.,G.ZRUBECKY: Tubulisation von Nervennähten. Chir. Praxis 7 (1963),429

SCHAAF,F.: Tubulisation von Nervennähten (Vorläufige Mitteilung über Erfahrungen mit dem Millipore-Filter). Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),905

SCHÄFER,E.-R.: Die Behandlung der frischen offenen Nervenverletzung. Chirurg 37 (1966),67

SCHARIZER,E.: Probleme der Nervennaht. Dtsch. med. Wschr. 94 (1969),132

SCHINK,W.: Zur chirurgischen Behandlung der kombinierten Medianus- und Ulnarislähmung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 299 (1961/62),748

SCHINK,W.: Die Wiederherstellungschirurgie verletzter Hände. Chirurg 36 (1965),211

SCHINK,W.,M.SCHMIDT-MENDE,H.P.VITTALI: Experimentelle Untersuchungen über die Einheilung von konservierten Nerventransplantaten mit Milliporeumscheidung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 304 (1963),936

SCHMITT,MAXFIELD: zitiert nach HAGER;

SEDDON,H.J.: Three types of nerve injury.
Brain 66 (1943),238

SEDDON,H.J.: War injuries of peripheral nerves.
British J. Surg. 36 (1949),325

SEDDON.H.J.: Peripheral Nerve Injuries.
Medical Research Council Report Series,
Nr. 282,London,Her Majesty's Stationery
Office,1954

SEDDON,H.J.: Nerve grafting.
J. Bone Jt. Surg. 45-B (1963),447

SEIFFERT,K.E.,P.SCHINDLER,E.THOMAS,M.SCHRÖDER,F.HUFSCHMIDT: Experimentelle Technik und Ergebnisse der homologen Nerventransplantation.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 322
(1968),598

SIBAL,R.N.,B.B.OHRI: Plasma clot repair of nerves.
Indian J. Surg. 23 (1961),238

SIMON,P.: Elektronische Messung der Hautfeuchtigkeitsabgabe bei peripheren sensiblen Nervenschädigungen.Vorläufige Mitteilung über einen neuen objektiven Sensibilitätstest.
Arch. orthop. Unfallchir. 55 (1963),
233

SIMON,P.,M.MANN: Kritische Stellungnahme zur Beurteilung von Sensibilitätsstörungen der Hand nach Nervenverletzungen unter Auswertung eines elektronischen Schweißmeßverfahrens an den Fingerbeeren bei Berücksichtigung des Ninhydrin-Testes.
Hefte Unfallheilk. 87 (1966),263

SMITH,J.W.: Microsurgery of peripheral nerves.
Plast. reconstr. Surg. 33 (1964),317

SNYDER,C.C.,H.deF.WEBSTER,J.E.PICKENS,W.A.HINES,G.WARDEN: Interneural neuroraphy.A preliminary clinical and histological evaluation.
Ann. Surg. 167 (1968),691

SOBOTTA,J.,H.BECHER: Atlas der Anatomie des Menschen.
Urban und Schwarzenberg,München-Berlin
1962

SPIELMEYER,W.: Degeneration und Regeneration nach Kontinuitätsunterbrechung.
In: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie,Bd. IX,S. 286,
herausgegeben von A.BETHE;
Springer,Berlin 1929

STRANGE,F.G.ST.C.: An operation for nerve pedicle grafting.
British J. Surg. 34 (1947),423

STRELI,R.: Technik der Fingernervennaht. Chir. Praxis 2 (1958),325

STROMBERG,W.B.,R.M. MCFARLANE,J.L.BELL, S.L.KOCH,M.L.MASON: Injury of the median and ulnar nerves. One hundred and fifty cases with an evaluation of MOBERGs ninhydrin test. J. Bone Jt. Surg. 43-A (1961),717

STRUPPLER,A.: Das Elektromyogramm in der Beurteilung peripherer Nervenverletzungen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),885

SUNDERLAND: zitiert nach WAKEFIELD;

TARLOV,J.M.: Plasma clot suture of nerves: illustrated technique. Surgery 15 (1944),257

THOMAS: zitiert nach HAGER;

TUBIANA: Referat auf dem Handchirurgischen Symposium,Wien 1967

WAKEFIELD,A.R.: Handinjuries in children. J. Bone Jt. Surg. 46-A (1964),1226

WALLRAFF,J.: Leitfaden der Histologie des Menschen. Urban und Schwarzenberg,München-Berlin-Wien 1967

WEISS und HISCOE: zitiert nach HAGER;

WEXBERG,E.: Traumatische Erkrankungen der peripheren Nerven und des Plexus. In: Handbuch der Neurologie, herausgegeben von O.BUMKE und O.FOERSTER, Bd.9,S.23; Berlin,Springer,1935

WHITE,J.C.: Nerve regeneration after replantation of severed arms. Ann. Surg. 170 (1969),715

WILHELM,A.: Rekonstruktive Eingriffe an der Hand nach Verletzungen. Chirurg 39 (1968),393

WILHELM,K.: Die Überbrückung von Nervendefekten mit lyophilisiertem Nerv. Handchirurgie,im Druck;

WILHELM,K.: Ergebnisse der homoioplastischen Nerventransplantation mit lyophilisiertem Nerv. Bruns'Beiträge,im Druck;

WILHELM,K.,A.ROSS: Die homoioplastische Nerventransplantation mit lyophilisiertem Nerv. Arch. orthop. Unfallchir.,im Druck;

YOUNG,J.E.: The functional repair of nervous tissue. Physiol. Rev.,Baltimore,22 (1942),318

YOUNG,J.Z.,P.B.MEDAWAR: Fibrin suture of peripheral nerves. Lancet (1940) II,126

ZACHARY und ROAF: zitiert nach MUMENTHALER;

ZACHARY,R.B.: Results of nerve suture. In: Peripheral nerve injuries. Medical Research Council Report Series, Nr.282,hrsg.v. H.J.SEDDON,London, Her Majesty's Stationery Office,1954

ZEUMER,G.,H.-J.HEIDEL: Nervenvereinigung unter Verwendung eines kaltpolymerisierenden Kunststoffklebers. Zbl. Chir. 92 (1967),1772

ZRUBECKY,G.: Die Hand,das Tastorgan des Menschen. Enke,Stuttgart 1960

ZRUBECKY,G.: Wiederherstellung des normalen Hautgefühles nach irreparablen Nervenschäden. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962),888

L e b e n s l a u f

Am 1.2.1943 wurde ich als erstes von vier Kindern des Studiendirektors Josef Hamperl und seiner Ehefrau Anna, geb. Wolf, in Zummern, Kreis Tachau/CSSR geboren.
Meine Schulzeit begann im September 1949. Nach dem Besuch der Volksschulen in Waidhaus und Vohenstrauß trat ich 1954 in das Humanistische Gymnasium Weiden in der Oberpfalz ein, wo ich im Juni 1964 die Reifeprüfung ablegte.
Ab Oktober 1964 leistete ich Wehrdienst und wurde im März 1966 als Fähnrich d.R. entlassen.
Im Sommersemester 1966 begann ich das Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität München, wo ich im April 1967 die naturwissenschaftliche, im Februar 1969 die ärztliche Vorprüfung ablegte. Vom Sommersemester 1969 an studierte ich an der Technischen Universität München. Hier legte ich vom 24.4.1972 bis zum 3.8.1972 die ärztliche Prüfung ab.